

Aus der Klinik für Strahlenheilkunde
der Medizinischen Fakultät Charité
der Humboldt-Universität zu Berlin

DISSERTATION

**Vergleich des Ressourcenbedarfs und der Personalkosten
an einem Ultraschallarbeitsplatz mittels Prozesssimulation
als Ausbildungsplatz und Facharztplatz
mit und ohne digitale Infrastruktur**

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae

vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charité
der Humboldt-Universität zu Berlin

von
Christoph Gillessen
aus Aachen

Dekan: Prof. Dr. Joachim W. Dudenhausen

Gutachter:

1. PD Dr. med. Jens Ricke
2. Prof. Dr. med. Hauenstein
3. Prof. Dr. med. Hamm

Datum der Promotion: 28.8.2003

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG.....	5
2	EINLEITUNG	8
2.1	Kosten im Gesundheitswesen	8
2.2	Prozessmanagement	9
2.3	Prozesssimulation	12
2.3.1	Systeme	12
2.3.2	Prozesse	12
2.3.3	Simulation	13
2.3.4	Möglichkeiten und Grenzen der Prozesssimulation	14
2.3.5	Vergleich der Verfahren: Prozesssimulation und Netzplantechnik	16
3	FRAGESTELLUNG	18
3.1	Ultraschalluntersuchung des Abdomens	18
3.2	Ausbildungs- vs. Facharztszenarium	18
3.3	Digitale Infrastruktur	19
4	MATERIAL UND METHODEN	21
4.1	Beschreibung des untersuchten Arbeitsplatzes	21
4.2	Prozesssimulation	23
4.2.1	Das Prozessmodell	23
4.3	Eine Prozesssimulation durchführen	25
4.3.1	Phase I: Zielsetzung definieren	26
4.3.2	Phase II: Prozessstruktur ermitteln	27
4.3.3	Phase III: Datenerfassung	29
4.3.4	Phase IV: Prozessmodell anfertigen	31
4.3.5	Phase V: Auswertung	36
4.4	Software	38
5	ERGEBNISSE	39
5.1	Prozessmodell	39
5.1.1	Strukturelemente	39
5.1.2	Validierungsmodell	47
5.1.3	Modellvarianten	48

5.2	Simulationsergebnisse	50
5.2.1	Übersicht	50
5.2.2	Ressourcenzuteilung im Facharztszenarium	55
5.2.3	Ultraschalluntersuchung des Abdomens	57
5.2.4	Ausbildungs- vs. Facharztszenarium	58
5.2.5	Digitale Infrastruktur	61
6	DISKUSSION.....	65
6.1	Prozessmodell erstellen	65
6.1.1	Die Wahl der Kenngrößen.....	65
6.1.2	Prozessstruktur ermitteln	67
6.1.3	Datenerhebung	69
6.1.4	Validierung und Verifizierung	72
6.2	Ergebnisse der Prozesssimulation.....	75
6.2.1	Aussagekraft der Simulation	75
6.2.2	Kostenberechnungen	78
6.2.3	Ultraschalluntersuchung des Abdomens.....	79
6.2.4	Ausbildungs- vs. Facharztszenarium	80
6.2.5	Digitale Infrastruktur	81
7	LITERATURVERZEICHNIS.....	84
8	ANHANG	89
8.1	Verzeichnis der Tabellen	89
8.2	Verzeichnis der Abbildungen.....	90
8.3	Eidesstattliche Erklärung	92
8.4	Danksagung.....	93

1 Zusammenfassung

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht einen Ultraschallarbeitsplatz hinsichtlich der Effizienz seines Arbeitsablaufs und evaluiert den möglichen Effizienzgewinn verschiedener Szenarien. Der Arbeitsplatz ist Teil des diagnostischen Funktionsbereichs der radiologischen Abteilung eines Universitätsklinikums; es werden Ärzte in der Untersuchungstechnik Sonographie ausgebildet. Drei Ultraschallgeräte in drei Untersuchungsräumen stehen zur Verfügung. Sie werden von einem Experten mit langjähriger Ultraschallerfahrung, einem erfahrenen Untersucher, einem fortgeschrittenen Untersucher und einem Anfänger bedient. Die Befunderstellung findet in einem vierten Raum statt, den sich die Ärzte mit 3 MTRA teilen, die dort administrative Aufgaben wahrnehmen (Akten-, Termin- und Filmverwaltung). Das Untersuchungsspektrum umfasst eine breite Palette von Untersuchungen der meisten Körperregionen sowohl im B-Bild-Mode als auch mit farbkodierter Dopplersonographie.

Methodisch kommt die Prozesssimulation zum Einsatz, ein computergestütztes Verfahren, das Prozessabläufe unter verschiedenen Rahmenbedingungen in ihrer Dynamik evaluiert. Das zugrundeliegende Prozessmodell aus Vorgängen mit ihren Anordnungsbeziehungen, Ressourcen und Flussobjekten wird in fünf Phasen erstellt und ausgewertet. Abgewandelte Modellvarianten kommen zum Einsatz, um die unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu repräsentieren.

Neben (a) dem vorgefundenen Ausbildungsszenarium werden (b) ein Facharztszenarium, in dem ausschließlich Experten arbeiteten, (c) die beiden vorangenannten ausschließlich mit Abdomenuntersuchungen sowie (d) Ausbildungs- und Expertenszenarien mit einer digitalen Infrastruktur simuliert. Kenngrößen für die Prozesseffizienz sind Patientendurchlaufzeiten, Human- und Materialressourcenauslastung sowie Gerätetaktzeiten und Arbeitsaufwand pro Untersuchung. Zusätzlich werden Personalkosten auf Basis des Berliner Haushaltsbruttos für Mitarbeiter des öffentlichen Dienstes berechnet.

Gegenüber (a) mit 4 Ärzten und 3 MTRA wurde für (b) eine Ressourcenzuteilung mit 3 Fachärzten und 2 MTRA als optimal hinsichtlich der Patientenwartezeiten sowie Gerätetaktzeit und Ressourcenauslastung ermittelt. Die Patientendurchlaufzeiten fielen in (b) kürzer aus als in (a). Trotz des höheren Arbeitsaufwands in (a) fielen die Personalkosten hier niedriger aus (-11,6 %).

Für (c) wurden Bruttopersonalkosten in Höhen von durchschnittlich 32,42 € (Ausbildung) bzw. 32,87 € (Facharzt) ermittelt. Die Nettokosten beliefen sich auf 22,46 € bzw. 25,42 €. Die Vergütung der gesetzlichen Krankenkassen für eine Abdomenuntersuchung zugrunde gelegt, erreicht die beobachtete Abteilung schon für den Personaleinsatz keine Kostendeckung.

Eine erhebliche Verringerung des Arbeitsaufwands insbesondere für MTRA ergab sich mit (d). Der Aufwand für administrative Tätigkeiten reduzierte sich um 89 % (Abdomenuntersuchung Facharzt), für die Gesamtuntersuchung um 41 %. Insgesamt kann der Arbeitsplatz mit einer MTRA weniger betrieben werden. Voraussetzung ist die Anpassung des Workflows an die neuen Möglichkeiten der digitalen Infrastruktur.

Ultraschall, Sonographie, Arbeitsablauf, Simulation, Kosten, Aufwand, Prozess, Prozesssimulation, Prozessmanagement

Abstract

This paper examines an ultrasound working environment regarding the efficiency of its workflow and evaluates the possible efficiency gain of different scenarios. The working environment is part of the diagnostic division of the radiological department of a university clinic; physicians are trained in conducting ultrasound examinations. There are 3 ultrasound devices available. Examiners are: an expert with ultrasonic experience of several years, an experienced examiner, an advanced examiner and a beginner. Report generation takes place in an administrative area, which the physicians share with 3 assistant medical technicians being responsible for scheduling, documents and film administration. Examinations cover a broad range of body regions both with conventional and color duplex sonography.

Computer-assisted process simulation is used to evaluate the dynamics of processes under variant conditions. The process model made of activities with their relationships, resources and flow objects is developed and evaluated in five phases. Model variations are used in order to represent different basic conditions.

Apart from (A) the observed training scenario, (B) a specialist scenario, in which only experts work, (C) both the former with abdomen examinations only as well as (D) training and expert scenarios with a digital infrastructure are simulated. Characteristics for the process efficiency are patient turn-around times, human and material resources

utilization as well as equipment cycle times and workload per investigation. In addition, personnel costs are computed.

Unlike (A) with 4 physicians and 3 technicians, in (B) a resources allocation of 3 specialists and 2 technicians was determined as optimal regarding the patient waiting periods as well as equipment cycle time and resource utilization. The patient turn-around times turned out shorter in (B) than in (A). Despite the higher workload in (A) the personnel costs turned out lower (-11,6 %).

In (C) gross personnel expenditure summed up to € 32.42 in average (training) and € 32,87 (specialist). Net costs amounted to € 22,46 and € 25,42 respectively. Considering the payments for an examination of the abdomen as granted by the compulsory health insurance fund, the observed department does not achieve cost recovery even for personnel costs.

A substantial decrease of the workload for technicians resulted in scenario (D). The workload of administrative activities was reduced by 89 % (examination of the abdomen by expert), for the complete examination by 41 %. The workplace can be operated by one less technician provided that the workflow is adapted to the possibilities of a digital infrastructure.

ultrasound, sonography, workflow, simulation, workload, cost, process, management

2 Einleitung

Der zunehmende Kostendruck im Gesundheitssystem, bedingt durch ein exponentielles Wachstum der Kenntnisse über physiologische Zusammenhänge und Möglichkeiten ihrer Manipulation einerseits und demographischen Veränderungen andererseits, stellt die Gesellschaft vor neue Herausforderungen. Da das Interesse groß ist, die Qualität der medizinischen Leistung zu erhalten und weiterzuentwickeln, müssen Wege zur Kostensenkung gefunden werden, die auf Effizienzsteigerung zielen.

Im Krankenhaussektor müssen vorhandene Prozesse entschlackt oder neue Prozesse entwickelt und implementiert werden. Voraussetzung für effiziente Prozessgestaltung und effizientes Prozessmanagement ist Transparenz von Abläufen und Kosten. Wenn möglich, sind Einblicke in zu erwartende Effizienzsteigerungen durch Veränderungen hilfreich. Hierzu will die vorliegende Arbeit einen Beitrag leisten.

2.1 Kosten im Gesundheitswesen

Grundlage der Berechnungen des Vergütungsbetrags für medizinische Leistungen ist die Verteilung eines Teils der Einnahmen der Krankenkassen an die niedergelassenen Ärzte über die kassenärztlichen Vereinigungen. Die Berechnung orientiert sich an der Anzahl von Patienten pro Arztgruppe und den an diesen erbrachten Leistungen insgesamt. Der tatsächliche Aufwand für erbrachte Einzelleistungen in Form von Arbeits- und Materialaufwand wird dabei nicht berücksichtigt. Trotz zu erwartendem gleichem Aufwand werden Ärzte unterschiedlicher Fachrichtungen für die gleiche Leistung unterschiedlich vergütet.

Ähnlich verhält es sich mit der Vergütung der Krankenhäuser, die derzeit noch individuelle Tagessätze mit den Leistungsträgern vereinbaren. Mit den Tagessätzen (für die Nutzung eines Krankenhauses) und einem durch die öffentliche Hand finanzierten Grundbetrag pro Haus (Bereitstellung der Infrastruktur) müssen die Kosten für alle anfallenden diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen sowie Begleitkosten beglichen werden.

Grundlage der Berechnung für Vergütungen seitens der Krankenkassen ist der Verbrauch an finanziellen Mitteln pro Patient und Zeiteinheit. Wie lange der Patient in Behandlung bleibt und welche Leistung tatsächlich für ihn erbracht wird, entscheidet der Leistungserbringer anhand des Beschwerdebildes. Die Leistung und ihre Vergütung

sind damit weitgehend voneinander entkoppelt; verschiedene Versuche der Leistungskontrolle durch die Leistungsträger haben sich als ineffektiv erwiesen.

Da dies als ein wesentlicher Faktor für ineffiziente Ressourcennutzung und damit einhergehend hohe Kosten für die tatsächlich erbrachte Leistung angesehen ist, bemühte man sich in den letzten Jahren um ein Vergütungssystem, das die Leistungserbringer zu kosteneffizientem Handeln motivieren soll. So wurde zunächst 1995 auf freiwilliger Basis ein Fallpauschalensystem mit Sonderentgelten für bestimmte Leistungen eingeführt. Dessen langfristig angelegte Entwicklung konnte den stark steigenden Kostendruck im Gesundheitssystem nicht abfangen, sodass die Einführung der Vergütung auf Basis von Diagnosis Related Groups (DRG) zum Jahr 2003 beschlossen wurde.

Mit dem DRG-System werden Kosten pauschal für Diagnosen vergütet. Die Höhe der Vergütung orientiert sich an in Studien ermittelten Kosten, die durchschnittlich bei einem Patienten mit der gegebenen Kombination von Diagnosen entstehen. Mit diesem Betrag muss der Leistungserbringer haushalten; es liegt jetzt in seiner Verantwortung, ihn effizient zu nutzen. Resultierend wird eine erhöhte Motivation erwartet, die eigenen Prozesse unter dem Aspekt der Kosteneffizienz zu überprüfen und zu gestalten.

2.2 Prozessmanagement

Prozessmanagement umfasst „planerische, organisatorische und kontrollierende Maßnahmen zur zielorientierten Steuerung der Wertschöpfungskette eines Unternehmens hinsichtlich Qualität, Zeit, Kosten und Kundenzufriedenheit“ [31]. Das Leitmotiv des Prozessmanagement ist die Kundenorientierung, die als wesentliche Voraussetzung zur Erlangung von Wettbewerbsvorteilen gilt. Weitere Merkmale umfassen die Prozessorientierung als Kontrapunkt zur Betrachtung von Abteilungen oder Bereichen, eine ganzheitliche Betrachtungsweise von Unternehmensprozessen unter Kosten-, Qualitäts- und Zeitaspekten sowie eine langfristige Orientierung des Verbesserungsprozesses [56].

Kundenorientierung oder Patientenorientierung wurde in der Medizin bislang in erster Linie mit möglichst guter medizinischer Versorgung nach aktuellem wissenschaftlichem Kenntnisstand gleichgesetzt. Der Begriff der „Versorgung“ ist hier nicht zufällig gewählt. Er betont den Aspekt der Notwendigkeit der medizinischen Handlung: Im Falle einer Erkrankung muss der Patient versorgt werden. Dabei ist das „Wie“ zweitrangig, solange die Behandlung medizinisch adäquat erfolgt. Das aus diesem Verständnis heraus entwickelte Gesundheitssystem regulierte sich über den Versorgungsbedarf, eine Begrenzung der finanziellen Mittel existierte lange Zeit nicht. Eine Konkurrenzsituation inner-

halb des Systems entstand allenfalls regional über eine begrenzte Anzahl bestimmter Krankheitsbilder.

Der zunehmende Kostendruck im Gesundheitswesen führte zu einer Neubewertung der Prioritäten medizinischen Handelns. Neben der bisher angestrebten Effektmaximierung im Sinne einer medizinisch bestmöglichen Patientenbehandlung wachsen in letzter Zeit forciert durch die Einführung der DRG einerseits die Bestrebungen zur Effizienzsteigerung, d.h. Reduktion des Mitteleinsatzes für das angestrebte Behandlungsziel. Neben der Sorge, mit einem begrenzten Budget haushalten zu müssen, steht zunehmend die Motivation, aus dem festen Budget Gewinn zu erwirtschaften. Dies verändert andererseits die Haltung der Leistungserbringer gegenüber den Patienten. Das Selbstverständnis verschiebt sich vom Versorger zum Dienstleister, womit der Kunden- oder Patientenzufriedenheit vermehrt Aufmerksamkeit gewidmet wird. Kundenzufriedenheit bedeutet in diesem Zusammenhang: „...keine Abweichung zuzulassen von den identifizierten Kundenwünschen“ [31].

Zwei Dimensionen von Kundenzufriedenheit als Maß für die Kundenorientierung lassen sich grundsätzlich unterscheiden. Nur wenn ein Kunde sowohl mit dem „Was“ als auch dem „Wie“ zufrieden ist, wird die Gesamtzufriedenheit ein hohes Niveau erreichen [55]. Zu einer differenzierteren Kenntnis der Faktoren, die Patientenzufriedenheit bedingen, trugen zahlreiche Studien in den letzten drei Jahrzehnten bei. Demnach spielen bei der Bewertung einer medizinischen Leistung durch einen Patienten sowohl intrapersonale Variablen (Determinanten) wie auch externe Variablen (Komponenten) eine Rolle. Die Determinanten (Erwartungen, Alter, Ausbildung, psychosoziale Faktoren) lassen sich von Seiten des Leistungserbringers nicht beeinflussen, wohl aber die Komponenten (persönliche Interaktion, technische Qualität der Leistung, Ergebnisqualität, Erreichbarkeit, Kosten, Angebotskonstanz, physische Umgebung) [60].

Prozessorientierung ist ebenfalls ein Ergebnis des Umdenkens zu mehr Kosteneffizienz. Sie entstand aus der Bestrebung, bei gleichbleibender oder verbesserter Ergebnisqualität eine höhere Effizienz zu erzielen. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht nicht mehr die behandelnde Abteilung oder der Funktionsbereich, sondern der Behandlungsprozess. Er kann sich aus Leistungen verschiedener Bereiche zusammensetzen. Spätestens mit Einführung der DIN ISO 9000 erlangte die Prozessorientierung große Popularität [55]. Mit Einführung der viel diskutierten Disease Management Programme sollen Einsparpotenziale durch prozessorientierte, eng verzahnte Zusammenarbeit unterschiedlicher medizinischer Disziplinen nutzbar gemacht werden.

Ganzheitlichkeit im Prozessmanagement ist auch ein Anspruch des Total Quality Managements (TQM), einer Philosophie der andauernden Prozessverbesserung [23, 25, 30, 33]. Sie umschreibt den Anspruch, Unternehmensprozesse unter Kosten-, Qualitäts- und Zeitaspekten zu steuern mit dem Ziel, alle vom Kunden wahrgenommenen Leistungsmerkmale zu berücksichtigen. Ihre Realisierung bedingt ein eng verzahntes Zusammenspiel verschiedener Instrumente und Methoden des Kosten- Qualitäts- und Time-Based-Managements sowie der Organisationslehre [55] – was bei Betrachtung der bestehenden Verhältnisse im deutschen Gesundheitswesen eine umfangreiche Aufgabe ist. Je nach Richtung, aus der die Initiative zu diesem Ansatz kommt, wird ihr Schwerpunkt unterschiedlich gesetzt sein.

Die **Langfristige Orientierung des Verbesserungseffekts** entstand aus der Einsicht heraus, dass Rationalisierungsprojekte klassischen Musters (z.B. Business Reengineering, Gemeinkostenwertanalyse) meist nur einen kurzfristigen Effekt aufweisen. Neuere Ansätze des Reengineering zielen auf einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess in kleinen Schritten ab. Dazu werden in einem Reengineeringvorhaben Prozessdenken, Prozessorganisation und Prozessmanagement etabliert, durch die ein langfristig wirksamer Verbesserungskreislauf eingeleitet wird [55]. Zahlreiche Werkzeuge wurden entwickelt, um Prozesse darzustellen und umzustrukturieren. Im englischen Sprachgebrauch wird die Summe all jener Maßnahmen in langfristiger Anwendung unter dem Begriff Continuous Quality Improvement (CQI) zusammengefasst (z.B. [5]).

Es existieren zahlreiche Methoden, die im Rahmen des Prozessmanagements zur Analyse und Optimierung von Prozessen eingesetzt werden können. Sie kommen auf verschiedenen Ebenen zum Einsatz, die einerseits „weiche“ Faktoren wie z.B. Konfliktmanagement sowie kommunikations- und motivationsfördernde Maßnahmen, andererseits „harte“ Faktoren wie die Planung, Steuerung und Kontrolle aller formalen Aspekte eines Prozesses betreffen. Zu den formalen Aspekten zählen z.B. die personelle und die Geräteausstattung sowie die Struktur des Arbeitsprozesses oder des Informationsflusses. Welche Maßnahme des Prozessmanagements wann eingesetzt wird, richtet sich nach der Art des Prozesses und dem Optimierungsziel. Generell wird man eine Methode wählen, die mit geringst möglichem Aufwand eine effektive Verbesserung des Prozesses im Hinblick auf das wahrgenommene Problem ermöglicht [25].

2.3 Prozesssimulation

Prozesssimulation ist ein Werkzeug, mit dem die Dynamik von Prozessabläufen in Systemen visualisiert und evaluiert wird.

2.3.1 Systeme

Der Begriff „System“ bezeichnet im Sinne der kybernetischen Systemtheorie den Teil der Wirklichkeit, auf den sich das Augenmerk gerade richtet. Dieser Systembegriff ist relativ und kann auf jeden beobachteten Bereich angewandt werden, so z.B. in der Mikrowelt (eine Zelle, ein Molekül oder ein Atom) oder in der Makrowelt (ein Mensch, ein soziales System, ein Planet oder auch ein Arbeitsbereich wie der untersuchte Ultraschalluntersuchungsplatz).

Definition: Ein System ist der Teil der Realität, der gerade betrachtet wird. Es besteht aus einer Gesamtheit von Teilsystemen (Elementen), die untereinander und mit der Umwelt über den Austausch von Information gekoppelt sind.

Unter prozesstechnischem Gesichtspunkt lassen sich kontinuierliche und diskrete Systeme unterscheiden. In kontinuierlichen Systemen verändern sich die Zustandsvariablen kontinuierlich über die Zeit, während sie in diskreten Systemen nur bestimmte Werte annehmen können. Obwohl kein System nur diskrete oder nur kontinuierliche Entitäten besitzt, wird man ein System überwiegend der einen oder der anderen Gruppe zuteilen können [16].

2.3.2 Prozesse

Ein Prozess ist eine Abfolge von Handlungen oder Aktivitäten, die eine Veränderung des betrachteten Systems über die Zeit bewirken. So besteht das hier betrachtete System „Ultraschalluntersuchungsplatz“ aus den Elementen Arbeitskräfte (MTRA, Ärzte), Material (Untersuchungsräume mit Ultraschallgeräten), untersuchtes Objekt (Patient) und Dokumentationsmaterial (Bilder, Akte, Befund). Der Prozess ist die Abfolge von Aktivitäten, die von oder an den Elementen des Systems durchgeführt werden. Im Verlauf des Prozesses verändert sich der Zustand des Systems und einiger seiner Elemente. So sind die verschiedenen Arbeitskräfte zu unterschiedlichen Zeiten mit unterschiedlichen Aktivitäten befasst. Der Patient verändert seine Position im System (Wartebereich, Untersuchungsraum). Die Interaktionen zwischen den Elementen wechseln (solche Interaktionen sind z.B.: „Arzt untersucht Patient“, „Arzt schreibt Befund“, „MTRA

lagert Patient“, „MTRA reinigt den Untersuchungsraum“). Im Verlauf des hier betrachteten Prozesses werden einige Elemente neu erzeugt (Befund, Bilder).

Definition: Ein Prozess ist eine Abfolge von Tätigkeiten, Aktivitäten, Handlungen oder Aufgaben, die in einem logischen Zusammenhang stehen. Er ist durch einen Prozessbeginn (Trigger) und ein Prozessende abgrenzbar.

2.3.3 Simulation

Simulation wird verwendet, um das Verhalten eines Systems zu beschreiben und zu analysieren, „was wäre wenn“-Fragen über das reale System zu beantworten und bei der Planung eines realen Systems zu unterstützen. Sie ist die Imitation der Funktion eines in Realität oder als Konzept existierenden Prozesses bzw. Systems über die Zeit [15].

Drei grundlegende Simulationsverfahren für die Anwendung durch Computer lassen sich unterscheiden [49].

- Discrete Event Simulation (deutsch: Einzelereignissimulation). Das Verhalten von Entitäten in einem Prozessmodell wird im zeitlichen Verlauf simuliert. Dabei besteht ein Bezug zwischen dem Zeitpunkt innerhalb der Simulation und dem Systemstatus.
- Kontinuierliche Simulation: Modelle werden als mathematische Gleichungen formuliert. Sie verändern das Ergebnis in Abhängigkeit von der Eingabe. Ein konkreter Zusammenhang zwischen Zeitpunkt und Systemstatus ist nicht gegeben.
- Monte Carlo Simulation: Verfahren zur Simulation des Verhaltens eines komplizierten deterministischen Systems durch Erfinden eines stochastischen Prozesses, der die Relationen des Systems mit ausreichender Genauigkeit widerspiegelt [48].

Weitere Klassifizierungen unterscheiden mathematische, beschreibende, statistische oder Input-Output-Modelle [15]. Im Unterschied zur Discrete-Event-Simulation fehlt hier der direkte Zeitbezug. Zudem sind sie in der Regel „Black Boxes“, in denen die internen Strukturen des realen Systems nicht nachgebildet sind. Eine mathematisches Formelwerk reproduziert das Systemverhalten stellvertretend für die Interna des realen Systems.

Der in dieser Arbeit durchgeführten Simulation liegt das Discrete-Event-Simulation Modell (übersetzt am ehesten „Einzelereignissimulationsmodell“) zugrunde, wenn auch nicht in seiner Reinform. So wie man Systeme in aller Regel nicht ausschließlich in eine der beiden Kategorien „diskret“ oder „kontinuierlich“ einteilen kann, wird ein Einzelereignissmodell auch kontinuierliche Simulationselemente beinhalten.

Im vorliegenden Modell werden die Komponenten eines Systems mit ihren Wechselwirkungen als Einzelereignismodell abgebildet. Damit kann das Zusammenspiel der Einzelkomponenten und der Einfluss punktueller Veränderungen auf das Gesamtsystem untersucht werden. Einige Zusammenhänge sind mathematisch und damit in Form einer kontinuierlichen Simulation modelliert. Der Detailgrad der Abbildung wird so gewählt, dass die vorab definierten Fragen an die Simulationsstudie beantwortet werden können.

Die Prozesssimulation wurde von der Modellierung bis zur Auswertung computergestützt durchgeführt.

2.3.4 Möglichkeiten und Grenzen der Prozesssimulation

Simulation wird in nahezu jeder technischen und wissenschaftlichen Disziplin eingesetzt. Hauptkriterium für die Entscheidung zur Simulation ist, dass Experimente an einem realen System aus irgendeinem Grund nicht praktikabel sind. Der Grund kann finanzieller Natur oder ein hohes Gefahrenpotential sein, oft kann auch auf das reale System nicht zugegriffen werden oder es existiert (noch) gar nicht.

Heutzutage wird die Technik beim Design neuer Systeme, der Analyse bestehender Systeme, für das Training unterschiedlichster Tätigkeiten und zur Unterhaltung eingesetzt. Auch in der Medizin wurde Simulation bereits mehrfach eingesetzt, um Abläufe effizienter zu gestalten (z.B. [22, 26, 47]), für Trainingszwecke (z.B. [32, 40, 46]) oder als diagnostische Erweiterung (z.B. [65]).

Prozesssimulation ist ein relativ aufwändiges Verfahren. Während sich der Aufwand für die Datensammlung im üblichen Rahmen einer wissenschaftlichen Studie bewegt, erfordert die Modellerstellung mit Testen, Verifizierung, Validierung und Evaluierung der verschiedenen Szenarien einen erheblichen zusätzlichen personellen Aufwand, der über eine rein statistische Auswertung weit hinaus geht. Der Vorteil zuverlässiger prospektiver Aussagen muss in Relation zu diesem Aufwand gesetzt werden. Dabei gilt es mehrere Herangehensweisen an das zu untersuchende Problem und weitere Rahmenbedingungen zu berücksichtigen [14, 17, 63]. Im Folgenden sind einige der Argumente, die gegen den Einsatz von Prozesssimulation sprechen, mit einem Kommentar zu dieser Arbeit aufgeführt.

- Das Problem kann mit Common Sense Analyse gelöst werden. Für eine reine Aufwandsermittlung hätte in der vorliegenden Arbeit eine Addition der durchschnittlichen Vorgangsdauern, multipliziert mit ihrer Auftretenshäufigkeit, genügt. Keine

verwertbaren Aussagen liefert dieses Verfahren hinsichtlich der Patientendurchlaufzeiten sowie der Ressourcenauslastung.

- Das Problem kann analytisch gelöst werden (Solid State Models). Dies ist die Herangehensweise der Netzplantechnik. Hier können wiederum nur Schnappschüsse des Prozesszustandes evaluiert werden.
- Es ist einfacher, Experimente am Realsystem durchzuführen. Eine digitale Infrastruktur ist nur mit hohem Aufwand zu realisieren. Es empfiehlt sich, einen effizienten Arbeitsablauf vor Implementierung zu ermitteln und zu testen, um das Investitionsrisiko gering zu halten und unnötige Investitionen zu vermeiden.
- Die Kosten des Simulationsprojekts übersteigen die möglichen Einsparungen. Die zu erwartenden Einsparungen mit Einführung einer digitalen Infrastruktur sind hoch, jedoch nur, wenn ihr Potential hinsichtlich der Neugestaltung des Workflow berücksichtigt wird. Ein Simulationsprojekt kann diese nötigen Veränderungen vorwegnehmen sowie schmerzliches und teures Trial-and-Error verhindern.
- Es gibt keine ausreichenden Ressourcen für das Simulationsprojekt (Personen mit Sachkenntnis der Simulation, Software, Geld). Dies ist eine notorisch vorzufindende Situation im öffentlichen Gesundheitswesen, in dem unternehmerisches, prospektives Denken und Handeln wenig verbreitet ist. Trotzdem sei jedem Entscheidungsträger ans Herz gelegt, in Erkenntnisse und solide Daten vorab zu investieren, um die nachfolgenden Kosten um so geringer zu halten.
- Es gibt nicht genug Zeit, um die Ergebnisse zu verwenden. Ein Simulationsprojekt sollte frühzeitig in einem Entscheidungsprozess geplant und durchgeführt werden. Es kommt immer wieder vor, dass eine Simulation als letztes Mittel zur Entscheidungsfindung verwendet werden soll und dann nicht mehr genügend Zeit bleibt, um Ergebnisse zu generieren.
- Es gibt weder Messdaten noch Schätzungen. Diese Situation ist vor allem bei völlig neu konzipierten Systemen gegeben. Für die hier untersuchten Szenarien wurden valide Daten oder Schätzungen erhoben.
- Das Modell kann nicht verifiziert oder validiert werden. Auch dies ist bei völlig neu konzipierten Systemen der Fall, wenn das Zusammenspiel der Systemkomponenten nicht vorhersagbar ist.
- Das Systemverhalten ist zu komplex oder kann nicht definiert werden. Im klinischen Bereich können aus prozesstechnischer Sicht zwei Arten von Arbeitsprozessen un-

terschieden werden. Arbeitsprozesse mit vorhersagbarem, weil in erster Linie durch die Ausführenden determiniertem Ablauf finden sich in Funktionsbereichen, wo in großer Zahl spezielle und wohldefinierte therapeutische und diagnostische Maßnahmen durchgeführt werden. Zu diesen gehört der hier untersuchte Arbeitsplatz. Im Stationsbereich, besonders ausgeprägt in der Intensivbehandlung, werden Abläufe stärker durch das Symptombild des Patienten bestimmt und sind von den Ausführenden nur eingeschränkt oder auf einer übergeordneten, unscharfen Ebene planbar.

2.3.5 Vergleich der Verfahren: Prozesssimulation und Netzplantechnik

Die Netzplantechnik, insbesondere ihre Varianten Critical Pathway Method (CPM) und Program Evaluation and Review Technique (PERT), wird seit Ende der 80er Jahre in der Medizin eingesetzt, um Abläufe effizienter zu gestalten [24, 29, 36, 39, 45, 61, 62]. Die Idee des kritischen Pfads fand Eingang in die klinischen Critical Pathways, welche Effizienz- und Qualitätssteigerungen durch eine Standardisierung klinischer Abläufe in Abhängigkeit vom Krankheitsbild zum Ziel hatten [51]. Trotz der begrifflichen Übereinstimmung haben diese mit der Methode der Netzplantechnik nach DIN 69900-1 [1] nicht mehr viel gemein.

Die Netzplantechnik wurde zur Planung und Überwachung von Projekten entwickelt. Wenn die Definition von Projekt und Prozess auch viele Übereinstimmungen hat, unterscheiden sie sich jedoch in einem wesentlichen Punkt. Projekte sind einzigartig in ihrer Konfiguration und finden nur einmal statt, während Prozesse mehrfach durchlaufen werden [15, 54].

Für die Prozessplanung und -evaluation hat dies verschiedenen Konsequenzen. Werden dafür Netzplantechniken verwendet, kann ein Netzplan nur ein statisches Abbild einer speziellen Prozesskonfiguration darstellen. Einschränkungen entstehen dadurch beispielsweise in der Beurteilung der Multikolarität ([45], siehe auch Abschnitt 6.1.3.1) sowie der Wechselwirkung verschiedener Objekte untereinander, mit Ressourcen und mit der Prozessstruktur. Prozessvariablen, die sich im Verlauf des Prozesses verändern und damit wiederum den Prozessablauf beeinflussen, lassen sich nicht darstellen.

Die Dynamik des Prozesses lässt sich erst in der Simulation beurteilen. Der Einfluss z.B. sporadisch auftretender Vorgänge auf den durchschnittlichen Untersuchungsaufwand und die durchschnittliche Untersuchungsdauer ist erst mit einer großen Anzahl

von Prozessdurchläufen unter verschiedenen Voraussetzungen zutreffend zu beurteilen. So wird im Simulationsmodell mit stochastisch modellierten Vorgangsdauern und Objektzahlen gearbeitet, um Wechselwirkungen zwischen den Ressourcen, Vorgängen und Objekten auch unter Extrembedingungen zu erkennen.

In vielen Fällen beginnt ein neuer Prozesszyklus bereits, bevor der aktuelle abgeschlossen ist. Im vorliegenden Szenarium kommen Patienten bereits an und werden registriert, während vielleicht ein anderer Patient noch untersucht und für einen dritten gerade der Befund geschrieben wird. Dabei laufen Untersuchungen an drei Ultraschallgeräten gleichzeitig. Um hier die Überlappungseffekte und ihren Einfluss auf den Ressourcenbedarf korrekt wiederzugeben, würde ein statischer Netzplan sehr komplex werden müssen.

Komplexe Interaktionen entstehen auch durch die asymmetrische Konfiguration von Untersuchungsplätzen und administrativer Instanz. Eine administrative Instanz arbeitet für drei Ultraschalleinheiten. Sie muss ihre Arbeitskraft je nach Bedarf auf die drei Einheiten verteilen. Diese haben variierende Zykluszeiten je nach Untersucher und anderen Faktoren. Soll hier der Einfluss wechselnder personeller Besetzung in Administration und Ultraschalleinheiten untersucht werden, müssen die verschachtelten, zeitversetzt ablaufenden Prozesszyklen mit ihren wechselseitigen Einflüssen nachgebildet werden. Mit der statischen Netzplantechnik ist dies nicht zu verwirklichen.

3 Fragestellung

Betrachtet wird der Arbeitsprozess einer Ultraschalluntersuchung im diagnostischen Funktionsbereich einer radiologischen Abteilung hinsichtlich Arbeitsaufwand und Personalkosten pro Patient bzw. Untersuchung sowie Geräteauslastung.

3.1 Ultraschalluntersuchung des Abdomens

Eine Ultraschalluntersuchung des Abdomens durch einen niedergelassenen Radiologen wird derzeit (Stand 4. Quartal 2001) mit Beträgen zwischen 13,09 € (Primärkassen) und 17,03 € (Sekundärkassen) vergütet. Niedergelassene Internisten erhalten zwischen 20,44 € und 25,84 € [6, 37]. Mit diesem Betrag müssen alle bei der Untersuchung entstehenden direkten und indirekten Kosten beglichen werden. Das beinhaltet den Arbeitsaufwand (Untersuchung, Befunderstellung, Bildarchivierung, Akten- und Terminverwaltung), Abschreibungs- und Unterhaltskosten für das Ultraschallgerät, Einwegmaterialien wie das Ultraschallgel, Druckerpapier und Büromaterial, Elektrizität, Raummiete und evtl. weitere versteckte Kosten.

Diese Beträge erscheinen subjektiv niedrig und dem zu erwartenden Aufwand plus Zusatzkosten nicht angemessen. Genaue Daten über den tatsächlichen durchschnittlichen Arbeitsaufwand einer Ultraschalluntersuchung des Abdomens mit allen Begleittätigkeiten und den damit verbundenen Kosten sind nicht bekannt. In dieser Arbeit werden Eckdaten zum Aufwand einer Ultraschalluntersuchung des Abdomens ermittelt:

- Wie hoch ist der Arbeitsaufwand einer Ultraschalluntersuchung des Abdomens?
- Wie hoch sind die Personalkosten für eine Ultraschalluntersuchung des Abdomens?

3.2 Ausbildungs- vs. Facharztszenarium

Der betrachtete Arbeitsplatz ist ein Ausbildungsplatz. Ausbildung erfordert erhöhten menschlichen und finanziellen Einsatz im Vergleich zum Routinebetrieb.

- Ausbilder: Der ausbildende Arzt bereitet zusätzlich zu seiner klinischen Tätigkeit sein Fachwissen didaktisch auf und gibt es an auszubildende Ärzte weiter. Zudem kontrolliert er die Tätigkeiten und Entscheidungen des auszubildenden Arztes.
- Patient: Wird ein Patient von einem auszubildenden Arzt sonographisch untersucht, muss er mit zwei Einschränkungen rechnen. Zum einen wird die Untersuchung möglicherweise länger dauern als beim erfahrenen Untersucher, zum anderen kann die Ergebnisqualität eingeschränkt sein. Letzteren Punkt versucht man mit erhöhtem

personellen Aufwand seitens des Ausbilders abzufangen, indem er die Bemühungen des Auszubildenden kontrolliert.

- Finanzen: Erhöhter finanzieller Bedarf entsteht aus dem erhöhten Aufwand des Ausbilders und der Nutzung von Materialressourcen der ausbildenden Institution. Letzterer Punkt betrifft Verbrauchsmaterial sowie Geräte, die während der Ausbildung nicht dem normalen Betrieb zur Verfügung stehen und kein Einkommen produzieren können.

Daraus resultierend werden folgende Fragestellungen untersucht:

- Wie hoch ist der zusätzliche Arbeitsaufwand pro Untersuchung für ein Ausbildungsszenarium im Vergleich zu einem Facharztszenarium?
- Wie hoch ist der Einfluss auf die Personalkosten in einem Ausbildungsszenarium im Vergleich zu einem Facharztszenarium?
- Wie groß ist der Einfluss auf Gerätetaktzeiten in einem Ausbildungsszenarium im Vergleich zu einem Facharztszenarium?

3.3 Digitale Infrastruktur

Effektivität, Aufwands- und Kosteneffizienz einer digitalen Infrastruktur wurden bisher in erster Linie im Zusammenhang mit telemedizinischen Anwendungen evaluiert [13, 20, 21, 27, 28, 34, 38, 41, 42, 43, 44, 50, 59]. Auch Einzelkomponenten einer digitalen Infrastruktur wurden hinsichtlich ihrer Kosteneffizienz evaluiert [18, 35, 52]. Während die Effektivität fast durchgängig gleichbleibend oder besser als mit konventioneller Infrastruktur beschrieben ist, variieren die Ergebnisse bzgl. der Kosteneffizienz. Dies ist auf unterschiedliche Kostenmodelle [18] und unterschiedliche Einbettung der digitalen Hilfsmittel in den Arbeitsablauf [58] zurück zu führen.

Ein Aspekt, der in vielen Betrachtungen zu digitalen Hilfsmitteln zu wenig beachtet wird, ist ihr Einfluss auf den Arbeitsablauf. Ein wesentlicher Effizienzgewinn lässt sich nur durch Anpassung des Arbeitsablauf an die Möglichkeiten einer digitalen Infrastruktur erreichen [10, 11, 12, 58].

Die hier vorausgesetzte digitale Infrastruktur umfasst mehrere funktionale Komponenten.

- Elektronische Patientenakte: Die medizinischen Patientendaten sind elektronisch gespeichert und per Computer und Netzwerk abrufbar.

- PACS (Picture Archiving and Communications System): Bilddaten aus bildgebenden diagnostischen Modalitäten sind elektronisch gespeichert und per Computer und Netzwerk abrufbar.
- Terminplanung: Ein flexibles elektronisches System übernimmt klinikumsweit die Planung und Koordination von diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen (z.B. [4]).

Die Erwartung eines Effizienzgewinns durch eine digitale Infrastruktur stützt sich auf die umfassenden funktionellen Möglichkeiten, die eine elektronische Datenverarbeitung eröffnet.

- Daten werden weitgehend automatisch erfasst und gespeichert. Dies ermöglicht eine höhere Datendichte (z.B. können physiologische Messwerte von Patienten automatisiert und in geringeren Zeitabständen protokolliert werden) und möglicherweise eine verbesserte, weil automatisch verifizierte Datenqualität. Der Arbeitsaufwand zur Dokumentation wird verringert.
- Während die Informationsdichte steigt (z.B. können statt nachbearbeiteter Filme die Rohdaten von Bildern gespeichert werden), kann durch eine ausgefeilte Metaanalyse die Aussagekraft der Information erhöht werden.
- Medizinische Informationen sind ubiquitär und ohne zeitliche Verzögerung verfügbar. Es müssen keine physischen Akten von A nach B transportiert werden, auch entstehen keine Irritationen bezüglich des Aufenthaltsorts der Akten.
- Zusätzliche Funktionalitäten automatisieren Abläufe. So kann z.B. die Erstellung von Arztbriefen oder die Kodierung von Diagnosen nach DRG beschleunigt werden.
- Per automatischem Terminmanagement werden Mitarbeiter und andere Ressourcen koordiniert, um eine effizientere Ressourcenauslastung bei gleichzeitig verkürzten Durchlaufzeiten der Patienten zu erzielen.

Im Einzelnen werden folgende Fragestellungen behandelt:

- Um wie viel kann der Arbeitsaufwand pro Untersuchung durch eine digitale Infrastruktur reduziert werden?
- Um wie viel können die Personalkosten pro Untersuchung durch eine digitale Infrastruktur reduziert werden?
- Wie groß ist der Einfluss auf Gerätetaktzeiten in einem Szenarium mit digitaler Infrastruktur?

4 Material und Methoden

Diese Arbeit untersucht die Prozessdynamik des Arbeitsablaufs einer diagnostischen Ultraschalluntersuchung. Mittels einer Prozesssimulationssoftware werden in multiplen Prozessdurchläufen die Auswirkungen unterschiedlicher Rahmenbedingungen (Ressourcenzuteilung, Variation in der Prozessstruktur) auf verschiedene Kenngrößen des Arbeitsprozesses ermittelt.

4.1 Beschreibung des untersuchten Arbeitsplatzes

Der beobachtete Arbeitsplatz ist Teil des diagnostischen Funktionsbereichs der Klinik für Strahlenheilkunde der Charité Berlin, Campus Virchow-Klinikum.

Personal und Einrichtungen: Es stehen drei Sonographiegeräte in drei Untersuchungsräumen zur Verfügung. Ein viertes Gerät für die Versorgung von Patienten mit infektiösen Erkrankungen ist in einem weiteren Raum untergebracht; diese Untersuchungen wurden hier nicht berücksichtigt.

Die Untersuchungsbefunde werden von den Ärzten in vordefinierten Bildschirmformularen an drei Apple Macintosh Computern erstellt und ausgedruckt. Dazu teilen sich drei Ärzte und ein Student im Praktischen Jahr einen Arbeitsraum mit 2 medizinisch-technischen Röntgenassistenten (MTRA) und einem Zivildienstleistenden, die dort administrative Aufgaben wahrnehmen.

Die Administration mit Zeitplanung und Abrechnung erfolgt computergestützt über das abteilungsinterne Abrechnungssystem Robsys (Radiologisches Organisations- und Befundsystem) durch die MTRA, wofür zwei Terminals zur Verfügung stehen. Befunde und Bilder werden konventionell archiviert. Zwei Telefone stehen zur Verfügung, von denen in der Regel eines von den MTRA für Terminabsprachen, das andere für Telefonate seitens der Ärzte benutzt wird.

Der Arbeitsplatz ist als Ausbildungsplatz konzipiert. Laut Personalschlüssel sind ihm ein Oberarzt mit langjähriger Ultraschallerfahrung, ein Assistenzarzt mit bis zu einjähriger Erfahrung und ein Anfänger, in der Regel ein Arzt im Praktikum, zugeteilt. Zusätzlich ist regelmäßig ein Medizinstudent im Praktischen Jahr anwesend. Zum Beginn der Untersuchung lag der Erfahrungsstand des Oberarztes bei ca. 40.000 Untersuchungen, des Assistenzarztes bei ca. 1.200 Untersuchungen, des Anfängers bei ca. 250 und des Medizinstudenten bei etwa 10 Untersuchungen. Die anwesenden Ärzte wechselten zum Teil während der Beobachtungsphase. Ihr Erfahrungsstand korrelierte nicht immer mit

ihrem ärztlichen Status. Daher wurden vier Gruppen definiert, die stellvertretend für den Erfahrungsstand galten: Experten (über 10.000 Untersuchungen), erfahrene Untersucher (über 1.000 bis 10.000 Untersuchungen), fortgeschrittene Untersucher (über 100 bis 1.000 Untersuchungen) und Anfänger (bis 100 Untersuchungen)

Untersuchungsvolumen: Als Routine- und Volumenarbeitsplatz konzipiert, werden hier Patienten aus dem gesamten Klinikum mit verschiedensten Fragestellungen sonographisch untersucht. Dabei kommt die B-Bild-Untersuchung ebenso zum Einsatz wie die farbkodierte Duplexsonographie mit und ohne Kontrastmittel. Auch ultraschallgesteuerte Punktionen werden am Arbeitsplatz durchgeführt. Zwischen dem 1.3.2000 und dem 28.2.2001 wurden pro normalem Arbeitstag im Routinebetrieb (Wochentage ohne Feiertage, Ankunft der Patienten zwischen 8:00 und 16:00 Uhr) durchschnittlich 37,63 (Range 9-57) Untersuchungen an durchschnittlich 30,66 (Range 9-48) Patienten durchgeführt. Die Häufigkeitsverteilung der Untersuchungen, die durchschnittlich einmal oder häufiger im oben angeführten Intervall angesetzt waren, ist in Abbildung 4-1 dargestellt. Notfalluntersuchungen außerhalb des Routinebetriebes wurden nicht berücksichtigt.

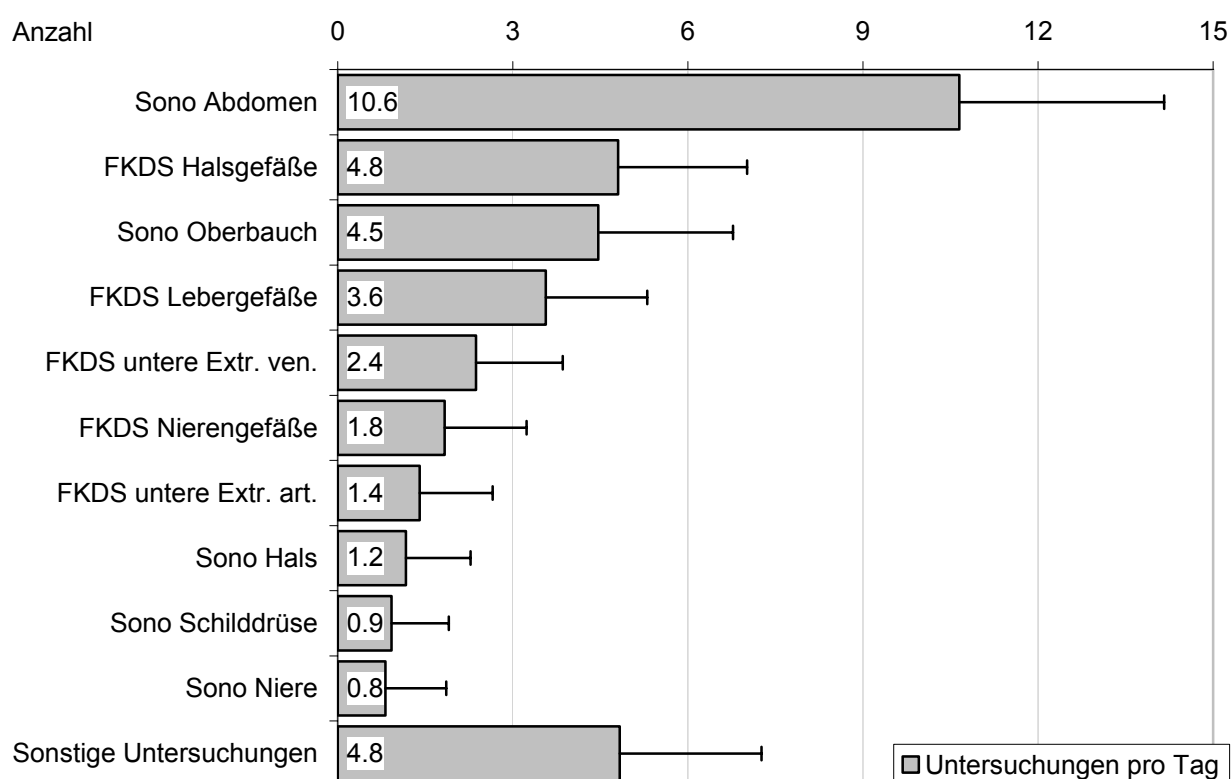


Abbildung 4-1: Durchschnittliche Anzahl der Untersuchungsarten pro Tag. Sono: Sonographische Untersuchung im B-Bild; FKDS: Farbkodierte Duplexsonographie

4.2 Prozesssimulation

4.2.1 Das Prozessmodell

Ein Prozessmodell besteht aus den Entitäten Vorgänge, Ressourcen und Flussobjekte. Die Prozessstruktur setzt sich aus Vorgängen mit ihren Abhängigkeiten zusammen. Die Flussobjekte bewegen sich entlang der Prozessstruktur. Ihr Verhalten wird von den Eigenschaften der Vorgänge, deren Beziehungen untereinander, der Ressourcenverfügbarkeit sowie von ihren eigenen Eigenschaften bestimmt und ermöglicht Aussagen über die Prozessqualität.

4.2.1.1 Strukturelemente

4.2.1.1.1 Vorgänge / Aktivitäten

Aktivitäten oder Vorgänge (die Begriffe werden synonym verwendet) entsprechen den einzelnen Arbeits- oder Prozessschritten, die an einem Flussobjekt durchgeführt werden. Verschiedene Eigenschaften bestimmen, wie sie das Verhalten eines Flussobjekts beeinflussen:

- die **Position** in der Prozessstruktur mit der Verknüpfung zu anderen Vorgängen
- die **Vorgangsdauer**,
- die **Auftretenswahrscheinlichkeit H_A** und
- die zur Durchführung nötigen **Ressourcen**.

Die **Position** der Vorgänge wird über ihre Anordnungsbeziehung beschrieben.

Die **Vorgangsdauern** basieren auf Messungen im realen System oder Schätzwerten. Sie werden über stochastische Verteilungsfunktionen modelliert, um den Effekt statistischer Schwankungen der Dauer im Modell wiedergeben zu können.

Die **Auftretenshäufigkeit H_A** beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Aktivität in einem Prozesszyklus tatsächlich durchgeführt wird. In Arbeitsabläufen kommt nicht jede Aktivität regelmäßig in jedem Zyklus oder immer an der gleichen Stelle vor.

Je nach Auftretenswahrscheinlichkeit und Position eines Vorgangs im Arbeitsablauf lassen sich vier Typen unterscheiden. Für diese Arbeit werden den vier Typen die Bezeichnungen Ia, Ib, IIa und IIb zugeordnet. Die römische Ziffer steht für die Position des Vorgangs im Arbeitsablauf (I: feste Position; II: variable Position), der Buchstabe für die Auftretenshäufigkeit (a: Vorgang tritt genau einmal pro Prozesszyklus auf ($H_A=1$); b: Vorgang tritt öfter oder weniger als einmal pro Prozesszyklus auf ($H_A<1$ oder $H_A>1$)).

- Typ Ia: Der Vorgang findet in jedem Zyklus genau einmal an einer festgelegten Stelle im Arbeitsablauf statt.
- Typ Ib: Der Vorgang wird nicht regelmäßig durchgeführt, ist jedoch an einer festgelegten Stelle im Arbeitsablauf positioniert. So wird z.B. der fortgeschrittene Untersucher nicht jede Untersuchung vom Experten nachbefunden lassen. Wenn er das jedoch tut, geschieht das immer unmittelbar nach dem Abschluss der Untersuchung.
- Typ IIa: Der Vorgang wird genau einmal pro Zyklus durchgeführt, kann jedoch an einer beliebigen Stelle im Arbeitsablauf oder sogar zeitlich getrennt vom eigentlichen Arbeitsablauf durchgeführt werden. Dies gilt für viele administrative Tätigkeiten wie Anmeldung, Bilder in Archivtüten sortieren etc., die dann ausgeführt werden, wenn gerade nichts anderes zu tun ist.
- Typ IIb: Der Vorgang findet unregelmäßig statt und kann irgendwo im Arbeitsablauf auftreten. Dies ist z.B. beim Abholen der Filme vom Drucker der Fall ($H_A < 1$, da die Filme für mehrere Untersuchungen zusammen geholt werden) oder bei der Anmeldung von Patienten ($H_A > 1$, da einige Patienten abgemeldet und für diese wieder neue angemeldet werden, um auf die gewünschte Patientenzahl zu kommen).

4.2.1.1.2 Anordnungsbeziehungen

Die Anordnungsbeziehungen der Aktivitäten beschreiben deren Abfolge innerhalb eines Prozesses aus den Vorgaben logischer bzw. technischer Zusammenhänge.

- Welcher Vorgang muss abgeschlossen sein, damit dieser Vorgang durchgeführt werden kann? Diese Frage bestimmt den Vorgänger der aktuell betrachteten Aktivität.
- Welcher Vorgang kann im Anschluss an diese Aktivität durchgeführt werden? Diese Frage bestimmt den Nachfolger der aktuell betrachteten Aktivität.

4.2.1.1.3 Teilprozesse

Die Aufteilung eines Prozesses in Teilprozesse kann unter logischen / technischen Gesichtspunkten erfolgen oder aus Gründen der Handhabbarkeit bei komplizierten Prozessmodellen. Teilprozesse geben demzufolge entweder Gegebenheiten des zu simulierenden Systems wieder oder erleichtern den Umgang mit dem Modell. Die Verbindung zwischen den Teilprozessen kann über Anordnungsbeziehungen, Ressourcenverfügbarkeit oder Bedingungen gegeben sein.

4.2.1.2 Ressourcen

Ressourcen sind die Arbeitskraft und/oder das Material, die für die Durchführung einer Aktivität nötig sind. Ihre Zuteilung erfolgt in den Einheiten [Arbeitskraft x Zeit] bzw. [Material x Zeit].

Bei Material unterscheidet man Verbrauchs- und Gebrauchsmaterial. Beide Arten verursachen Kosten: Verbrauchsmaterial wie z.B. Ultraschallgel muss jeweils neu beschafft werden, um eine Aktivität durchführen zu können. Es wird einem Vorgang in festen oder stochastisch modellierten Mengen zugeteilt. Gebrauchsmaterial wie z.B. ein Ultraschallgerät verursacht Anschaffungs-, Abschreibungs- und Wartungskosten.

Ressourcen können zu Gruppen zusammengefasst werden, um der Software die Wahl einer verfügbaren Ressource aus einem Pool von Ressourcen mit ähnlich Eigenschaften zu ermöglichen. Beispiel: Im hier dargestellten Prozessmodell wurde eine Ressourcengruppe „Arzt“ definiert, der alle Ärzte mit unterschiedlicher Ultraschall Erfahrung zugeordnet war. Die Software wählte nach vorgegebener Priorität einen verfügbaren Arzt aus der Gruppe, wann immer die Untersuchung eines Patienten begann.

4.2.1.3 Flussobjekte

Flussobjekte sind die dynamischen Entitäten eines Prozessmodells. Sie durchlaufen die Prozessstruktur. Ihr Verhalten wird dabei von den Eigenschaften der Vorgänge (Dauer, Verzweigungswahrscheinlichkeit,...), der Ressourcenverfügbarkeit und den eigenen Eigenschaften bestimmt.

Die Definition von Flussobjekten im Prozessmodell orientiert sich an den Objekten, die im realen System beobachtet werden. In dieser Arbeit wurden Flussobjekte definiert, die je nach Bedarf mehrere Objekte des simulierten Systems zusammenfassten. Beispiel: Das Objekt „Patient“ durchläuft auch Vorgänge, die den Befund und die Akte betreffen. Im Verlauf eines Teilprozesses kann das Flussobjekt an definierten Verzweigungspunkten in mehrere Teilobjekte zerlegt werden, die einen unterschiedlichen Weg durch die Prozessstruktur nehmen. An einem späteren Punkt werden alle Elemente wieder zusammengeführt.

4.3 Eine Prozesssimulation durchführen

Ein Prozessmodell wird in fünf Phasen erstellt, die z.T. in iterativen Schritten wiederholt durchlaufen werden (Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Erstellung eines Prozessmodells in fünf Phasen

Phase	Tätigkeiten
I Zielsetzung definieren	<ul style="list-style-type: none"> - Problem formulieren - Fragestellung ableiten - Genaue Ziele für das Prozessmodell definieren
II Prozessstruktur ermitteln	<ul style="list-style-type: none"> - Vorgänge ermitteln (Was wird gemacht?) - Ressourcenallokation (Wer macht was und was wird dafür benötigt?) - Logische Beziehungen zwischen den Vorgängen ermitteln (Wann wird etwas gemacht?) - Flussobjekte mit ihren Eigenschaften ermitteln (Mit wem wird etwas gemacht?)
III Messdatenerfassung	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitmessung der einzelnen Vorgänge - Auftretenshäufigkeit der einzelnen Vorgänge ermitteln - Aufbereitung der Messwerte
IV Prozessmodell anfertigen	<ul style="list-style-type: none"> - Abbildung der Struktur und Messergebnisse in einem Prozessmodell - Verifizierung, Validierung
V Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> - Verschiedene Szenarien implementieren - Kenngrößen für jedes Szenarium ermitteln

4.3.1 Phase I: Zielsetzung definieren

4.3.1.1 Zielsetzungen

Die Zielsetzung entscheidet über Umfang und Detailgrad des Simulationsmodells. Auf Basis der in Abschnitt 3 aufgeworfenen Fragen wurden für das Prozessmodell folgende Zielsetzungen definiert:

- Es enthält alle Arbeitsschritte einer Ultraschalluntersuchung inklusive administrativer Tätigkeiten im Rahmen der Archivierung von Bildern und Befunden sowie Terminabsprachen.
- Das Modell spiegelt die Verhältnisse des beobachteten Arbeitsplatzes wieder im Hinblick auf die Anzahl der ankommenden und anwesenden Patienten pro Wochentag und Stunde, die Anzahl der Untersuchungen sowie die Dauer der Untersuchungen.
- Je nach Fragestellung wird das Modell modifiziert (siehe Abschnitt 4.3.5): a) Nur Untersuchungen des Abdomens werden simuliert. b) Der Arbeitsablauf eines Routinearbeitsplatzes ohne Ausbildung wird für Abdomenuntersuchungen simuliert. c) Der Arbeitsablauf eines Routinearbeitsplatzes mit digitaler Infrastruktur wird für Abdomenuntersuchungen simuliert.

4.3.1.2 Indikatoren

Die Prozessleistung wird an Hand verschiedener Kenngrößen (Indikatoren) beurteilt. Die gewählten Indikatoren betreffen Dauern, Aufwandswerte und Personalkosten

(Tabelle 4-2). Alle aufgeführten Indikatoren sind Durchschnittswerte aller Untersuchungen des Simulationszeitraums, soweit nicht anders angegeben.

Tabelle 4-2: Indikatoren der Prozessleistung

Indikator	Einheit	Beschreibung
Taktzeiten (T)		
Untersuchung T_U	[min:sec]	$T_U = \frac{\text{Zeit für alle Untersuchungen}}{\text{Anzahl der Untersuchungen}}$
Ultraschallgeräte T_G	[min:sec]	$T_G = \frac{\text{Zeit für alle Untersuchungen}}{\text{Anzahl der Untersuchungen}} \cdot \text{Anzahl Geräte}$
Patientenlaufzeiten (P)		
Anwesenheit P_A	[min:sec]	Ankunft des Patienten bis Aushändigung des Befunds
Untersuchungszeit P_U	[min:sec]	Dauer der Untersuchung am Patienten
Wartezeit gesamt P_{Wg}	[min:sec]	$P_{Wg} = P_{Wv} + P_{Wn}$
Wartezeit vor Untersuchung P_{Wv}	[min:sec]	Ankunft des Patienten bis Beginn der Untersuchung
Wartezeit nach Untersuchung P_{Wn}	[min:sec]	Zeit von Ende der Untersuchung bis Aushändigung des Befunds
Arbeitsaufwand (A)		
Gesamtaufwand pro Untersuchung A_G	[min:sec]	$A_G = \frac{\text{Summe aller Aktivitätsdauern}}{\text{Anzahl der Untersuchungen}}$
Administrativer Aufwand A_A	[min:sec]	$A_A = \frac{\text{Summe der Dauern administrativer Aktivitäten}}{\text{Anzahl der Untersuchungen}}$
Untersuchungsaufwand A_U	[min:sec]	$A_U = \frac{\text{Summe der Dauern der Untersuchungsaktivitäten}}{\text{Anzahl der Untersuchungen}}$
Ressourcenauslastung (R)		
Arbeitskräfte R_A	[%]	$R_A = \frac{\text{aktive Zeit der Arbeitskraft}}{\text{Anwesenheitszeit}} \cdot 100$
Ultraschallgeräte R_G	[%]	$R_G = \frac{\text{Untersuchungsdauer}}{T_G} \cdot 100$
Personalkosten		
Nettokosten	€	Kosten für tatsächlich anfallende Arbeit (produktive Kosten)
Bruttokosten	€	Nettokosten plus unproduktive Kosten für Zeiten der Untätigkeit

4.3.2 Phase II: Prozessstruktur ermitteln

4.3.2.1 Vorgänge ermitteln

Ein nicht in den Arbeitsablauf eingebundener Beobachter (Arzt) begleitete die Untersuchungen von 30 Patienten und notierte alle identifizierten Einzelaktivitäten in einer Vor-

gangsliste. Zusätzlich wurde erfasst, welche Person den Vorgang durchführte und welche Materialien dafür notwendig waren.

Für die spätere Auswertung wurden die Vorgänge als Administrations- oder Untersuchungstätigkeiten eingestuft. Als Untersuchungstätigkeiten galten alle Vorgänge, die direkt am Patienten stattfanden oder für die Durchführung der Ultraschalluntersuchung mit Befunderstellung unmittelbar notwendig waren. Administrative Tätigkeiten dienten der Archivierung von Filmen und Akten, der Abrechnung und der Terminabsprache.

Wo im Rahmen der Fragestellung vertretbar, wurden mehrere einzelne Vorgänge zu einem übergeordneten Vorgang zusammengefasst.

Für eine bessere Übersicht wurde jedem Vorgang eine Kombination aus der Nummer eines Aufgabenbereichs und einem Buchstaben zugeordnet.

4.3.2.2 Anordnungsbeziehungen definieren

Für jeden Vorgang wurde ermittelt, welche Vorgänge unmittelbar vor ihrer Durchführung ausgeführt sein müssen und welche anschließend durchzuführen sind. Dabei wurden sowohl logische Zusammenhänge als auch feststehende Regeln für die Durchführung einer Untersuchung berücksichtigt. Einige Zusammenhänge wurden stochastisch modelliert.

Beispiele:

- Eine Regel ist, dass ein neuer Patient erst aufgelegt werden darf, wenn der Untersuchungsraum gereinigt ist.
- Ein logischer Zusammenhang ist, dass der Befund erst geschrieben werden kann, wenn die Untersuchung abgeschlossen ist.
- Der Zusammenhang zwischen Anmeldevorgang und Untersuchung wurde stochastisch modelliert, da die Anordnungsbeziehung für die Fragestellung nicht relevant war und sich so die Auswertung der Simulationsergebnisse einfacher gestaltete.

4.3.2.3 Ressourcen zuteilen

Die einzelnen Mitarbeiter wurden in Abhängigkeit von ihren Aufgabenbereichen und Kompetenzen Ressourcengruppen zugeteilt. Im Prozessmodell wurde jedem Vorgang ein oder mehrere Mitarbeiter über eine Ressourcengruppe zugeteilt, dessen/deren Kompetenzprofil(e) mit dem Ressourcenbedarf der Aktivität übereinstimmt.

4.3.2.4 Flussobjekte

Sie entsprechen den physischen Objekten, an denen Aktivitäten ausgeführt werden (Beispiel: Patient, Akte) oder abstrakten Administrationsobjekten (Beispiel: Untersuchungsanmeldung, Telefonat). Die Wahl der Objekte richtet sich nach den Abläufen, die abgebildet werden sollen. Bei der Beschreibung der Objekte wurden Eigenschaften erfasst, für die ein Einfluss auf den Objektverlauf im Prozessmodell angenommen wurde (Beispiel: Patienten können bettlägerig sein, zu Fuß oder im Rollstuhl kommen).

4.3.3 Phase III: Datenerfassung

4.3.3.1 Messdatenerfassung

Erfasst wurden Vorgangsdauern und die Auftretenshäufigkeit von Aktivitäten.

4.3.3.1.1 Vorgangsdauern

Für den Messvorgang wurde eine Software erstellt (Abbildung 4-2). Als Werkzeuge kamen dafür die Datenbank Microsoft® Access 2000 [2] und die Programmiersprache Microsoft® VisualBasic for Applications zum Einsatz.

Die Kernfunktionalität der Software ist die automatisierte Protokollierung und Verwaltung mehrerer parallel ablaufender Messungen von Vorgangsdauern. Beim Start einer Messung wird die durchführende Ressource und die Aktivität aus frei definierbaren Listen ausgewählt. Laufende Messungen werden in einer Auswahlliste angezeigt. Für die Protokollierung der Rahmenbedingungen kann zu jeder Messung zusätzliche Information erfasst werden, wie z.B. die Untersuchungsart oder die Transportart des Patienten. Wird die Ausführung eines Vorgangs unterbrochen, z.B. wenn ein Telefonat beantwortet werden muss, kann die Messung in der Software auf Pause gesetzt und anschließend fortgeführt werden. Die Software erlaubt nur eine gleichzeitig ausgeführte Aktivität pro Ressource, es können jedoch mehrere Ressourcen parallel beobachtet werden.

Die Messdaten werden als Tabelle aufbereitet und per Kopieren-und-Einfügen in andere Applikationen übernommen.

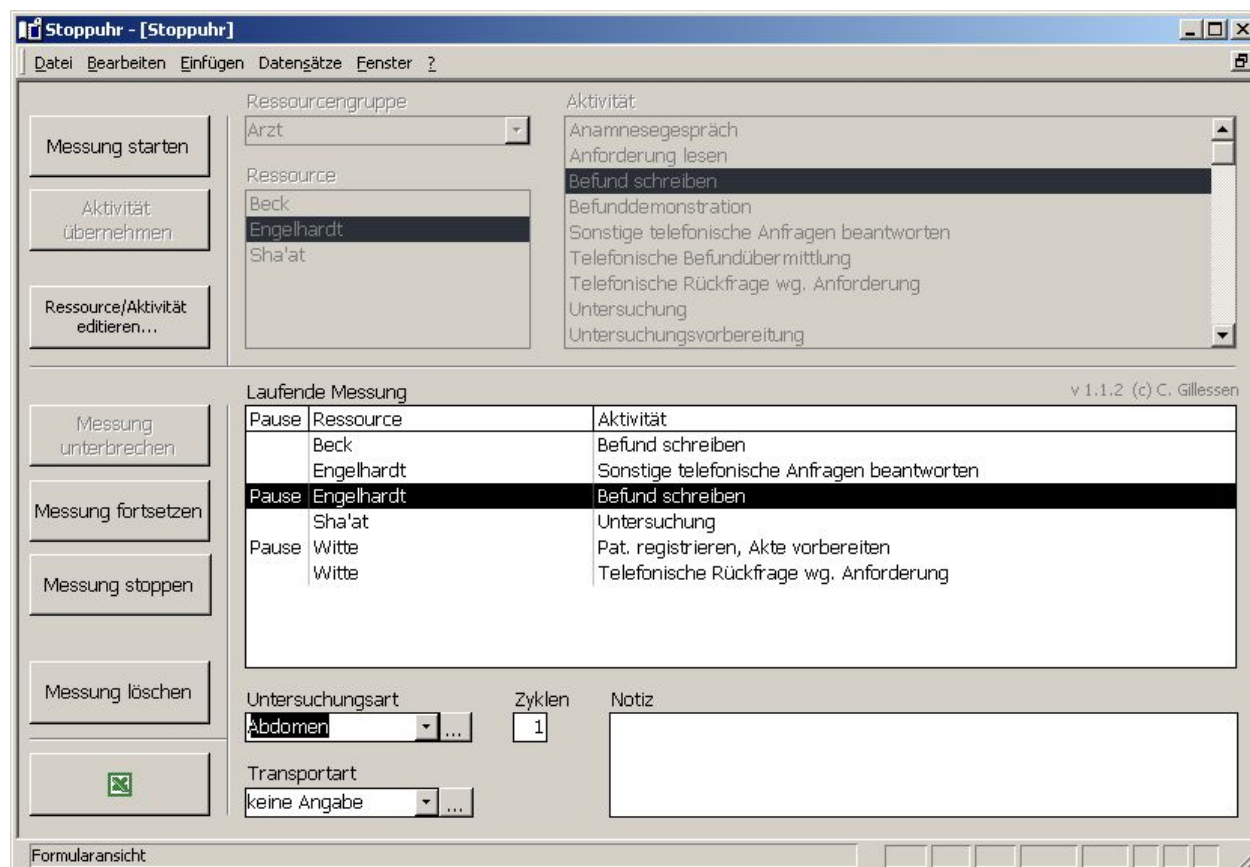


Abbildung 4-2: Benutzeroberfläche der Applikation zur zeitlichen Erfassung parallel ablaufender Arbeitsschritte

4.3.3.1.2 Auftretenshäufigkeit

Zusätzlich zu den Zeitmessungen wurde eine Strichliste für jene Vorgänge geführt, die nicht fest regelmäßig auftraten (Typ Ib und Typ IIb). Für jeden Vorgang wurde gezählt, wie häufig er pro Zeiteinheit auftrat. Dieser Wert wurde über die Anzahl der Untersuchungen im Beobachtungszeitraum in die durchschnittliche Auftretenshäufigkeit pro Untersuchung umgerechnet. Waren diese Daten nicht ausreichend, wurden die Mitarbeiter gefragt, wie häufig die jeweiligen Vorgänge pro Tag auftraten. Sie wurden gebeten, jeweils einen Minimalwert, einen Maximalwert und einen Modalwert anzugeben.

4.3.3.2 Auswertung der Abrechnungsdaten

Im abteilungseigenen radiologischen Informationssystem (RIS, hier: Radiologisches Organisations- und Befundsystem, Robsys) werden alle abrechnungsrelevanten Daten einer Untersuchung gespeichert. Die Daten aller Routineuntersuchungen eines Jahres (1.3.2000 bis 28.2.2001) wurden ausgewertet. Alle Untersuchungen an regulären Wochenarbeitstagen (keine Wochenenden und Feiertage), deren Beginn zwischen

8:00 Uhr und 16:00 Uhr terminiert war, wurden in die Auswertung eingeschlossen. Ermittelt wurden:

- Die Anzahl der Patienten pro Tag
- Die Anzahl der Untersuchungen pro Tag
- Die Anzahl der An- und Abmeldevorgänge pro Tag
- Die Arten der durchgeführten Untersuchungen
- Der Anteil der einzelnen Untersuchungsarten am Gesamtaufkommen

Für jede Untersuchung wurden zwei Zeitpunkte von Robsys protokolliert:

- Ankunft des Patienten in der Abteilung
- Eingabe der Abrechnungsdaten ins Terminal

Während die Abrechnung zuverlässig bei jedem Patienten vorgenommen wird, war die Ankunft des Patienten gelegentlich nicht erfasst, sodass dieser Zeitpunkt nicht durchgängig protokolliert war. Die verwertbaren Daten eines Protokollierungszeitraums von 8 Wochen wurden ausgewertet. Die Dauer zwischen den beiden Messzeitpunkten wurde für jeden Patienten berechnet (im Folgenden „Evaluationsintervall“ genannt) und nach der Ankunftszeit des Patienten gruppiert. Für jeden Stundenblock des Arbeitstages wurde anschließend der Mittelwert und die Standardabweichung der Dauern berechnet. Das so entstandene Tagesprofil wurde zur Validierung herangezogen.

4.3.4 Phase IV: Prozessmodell anfertigen

4.3.4.1 Prozessstruktur

Mit den ermittelten Aktivitäten und Anordnungsbeziehungen wurde ein Netzplandiagramm erstellt. Jede Aktivität kann mit einer oder mehreren weiteren Aktivitäten verbunden sein. Dies wird über Pfeile, die Aktivitätspfade, symbolisiert. Sie repräsentieren den Weg, den ein Flussobjekt im Prozess durchlaufen kann. Im vorliegenden Prozessmodell wurde die Struktur so modelliert, dass von jedem Vorgang mit Ressourcenbedarf genau ein Aktivitätspfad abgeht. Für Verzweigungen wurden zusätzliche Aktivitäten ohne Ressourcen und Dauern eingebaut. Dies erhöht die Übersichtlichkeit und erleichtert die Fehlersuche während des Modellierens.

Mehrere parallele, logisch unabhängige Aktivitätsstränge wurden in mehreren Subprozessen abgebildet. Ein Strang aus Typ-Ia/Ib-Vorgängen wurde als Hauptstrang definiert. Die verschiedenen Subprozesse (alle aus Typ IIa/IIb-Vorgängen bestehend) waren nicht über Anordnungsbeziehungen miteinander verknüpft. Stattdessen wurden aus

den Messdaten statistische Zusammenhänge ermittelt, welche die Zahl der Flussobjekte und den Zeitpunkt ihres Starts für jeden Subprozess beschrieben.

Den logischen Zusammenhängen der einzelnen Aktivitäten entsprechend entstanden mehrere Teilprozesse. Der Teilprozess, der die eigentliche Untersuchung beschreibt, wird im Folgenden als Hauptprozess bezeichnet. Er enthält Vorgänge vom Typ Ia und Ib. Die Vorgänge vom Typ IIa und IIb sind auf andere Teilprozesse verteilt. In der graphischen Anordnung wurden die Teilprozesse nach Funktion sortiert.

In der hier gewählten Darstellungsform finden mehrere Arten von Aktivitäten Verwendung. Rechtecke mit weißem Hintergrund bilden Aktivitäten ab, in denen Untersuchungsvorgänge mit Ressourcen und Vorgangsdauern stattfinden. Aktivitäten mit grauem Hintergrund dienen der Prozesssteuerung. Rauten repräsentieren hier Verzweigungspunkte, die den Weg der Flussobjekte steuern. In der Simulationssoftware werden auch diese als Aktivitäten bezeichnet; ihnen sind jedoch keine Ressourcen oder Vorgangsdauern zugeordnet.

Das Verhalten eines Objekts an Verzweigungspunkten in der Prozessstruktur wurde mit zwei von drei möglichen Methoden (stochastisch, Priorität, komplexe Bedingung) modelliert.

- Stochastisch: Es wird eine Wahrscheinlichkeit festgelegt, mit der das Objekt einen der vorhandenen Pfade wählt. Damit lassen sich Aktivitäten modellieren, die nur gelegentlich vorkommen. Beispiel: Wenn bei der Prozessbeobachtung ermittelt wurde, dass eine von zehn Anforderungskarten unklare Angaben enthält und telefonisch abgeklärt werden muss, wird dem Aktivitätspfad zur Aktivität „Anforderung telefonisch klären“ eine Häufigkeit von 0,1 (10 %) zugeordnet.
- Bedingung: Bedingungen können objekt- oder aktivitätsbezogen eingesetzt werden. Für die Simulation ist jede Aktivität und jedes Objekt durch eine Reihe von Variablen beschrieben, die im Verlauf der Simulation dynamisch angepasst werden, um den jeweiligen Status der Aktivitäten resp. Objekte zu beschreiben. Zusätzlich können Objekten und Aktivitäten benutzerdefinierte Eigenschaften zugewiesen werden. Anhand all dieser Eigenschaften werden Bedingungen definiert, die das Verhalten von Objekten an Verzweigungen oder an bestimmten Aktivitäten bestimmen. Beispiel: Bei einem bettlägerigen Patienten wird im Gegensatz zum Fußgänger die zusätzliche Aktivität „Bett in den Untersuchungsraum schieben“ notwendig. Um dies abzubilden, wird dem Flussobjekt beim Eingang in den Prozess die Eigenschaft „bettlägerig“ zugewiesen und diese dann bei der Verzweigung abgefragt.

4.3.4.2 Ressourcenallokation und Vorgangsdauern

Jedem Aktivitätspfad wurden die erforderlichen Ressourcen zugewiesen. An Sachmitteln wurden nur solche mit eingeschränkter Verfügbarkeit ins Prozessmodell aufgenommen.

Auf Basis der im Vorfeld erhobenen Daten wurden die Vorgangsdauern stochastisch modelliert. Eine statistische Analysesoftware [8] ermittelte für jede Vorgangsdauer, für die zehn oder mehr Messwerte vorlagen, eine Verteilungsfunktion. Dabei kamen in dieser Arbeit Weibull-, Lognormal-, Erlang- und Betaverteilungen zum Einsatz (Tabelle 4-3). In den anderen Fällen wurde eine Dreiecksverteilungsfunktion verwendet, deren Eckpunkte über das Minimum, den Median und das Maximum der gemessenen Vorgangsdauern definiert waren. Die Simulationssoftware generierte bei jedem Aktivitätsdurchlauf eine zufällige Vorgangsdauer innerhalb des Wertebereichs und mit der Häufigkeitsverteilung, die durch die Verteilungsfunktion definiert waren.

Tabelle 4-3: Verteilungsfunktionen für Vorgangsdauern des Prozessmodells

Name	Formel	Funktionsaufruf	Parameter
Dreieck		Triang(low, high, mode)	Low Untere Begrenzung [s] High Obere Begrenzung [s] Mode Häufigster Wert [s]
Beta	$f(x) = \frac{x^{a-1} \cdot (1-x)^{b-1}}{Beta(a,b)}$	Beta(a, b, start, end)	a Alpha b Beta start Untere Begrenzung [s] end Obere Begrenzung [s]
Lognormal	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{\ln(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$	min + Lnormal(mean, sigma)	min Untere Begrenzung [s] mean natürlicher Logarithmus des Mittelwerts sigma Standardabweichung
Weibull	$f(x) = a \cdot b \cdot x^{b-1} \cdot e^{-ax^b}$	min + Weibull(a, b)	min Untere Begrenzung [s] a Shape-Faktor b Scale-Faktor
Erlang	$f(x) = \frac{b^N \cdot x^{N-1} \cdot e^{-bx}}{(N-1)!}$	min + Erlang(N, b)	min Untere Begrenzung [s] N ganzzahliger Shape- Faktor b Scale-Faktor

Für einige Vorgänge wurde angenommen, dass sie unterschiedliche Dauern je nach ausführender Person oder anderen Begleitumständen aufweisen. Um diese Annahme zu stützen, wurden die Messdaten der unterschiedlichen Gruppen (z.B. Untersucher mit unterschiedlichem Erfahrungsstand) mittels Mann-Whitney-Test verglichen.

4.3.4.3 Flussobjekte

Für jeden Teilprozess wurden Flussobjekte definiert. Je nach Bedarf wurden ihnen Variablen zugeordnet, die den Prozessverlauf beeinflussende Objekteigenschaften beschreiben. Die Anzahl der Flussobjekte richtete sich nach der Anzahl von Prozessdurchläufen, die simuliert werden sollten. Die Anzahl der Flussobjekte im Hauptprozess (den Patienten entsprechend) wurde pro Wochentag auf Basis der Robsysdaten ermittelt. Die Anzahl der Flussobjekte in den Teilprozessen richtete sich nach dem Hauptprozess.

4.3.4.4 Verifizierung

Die Prozessstruktur wurde wiederholt mit den beteiligten Ärzten und MTRAs verifiziert und angepasst, bis sie dem beobachteten Arbeitsablauf entsprach.

4.3.4.5 Validierung

Ein vereinfachter Modellierungsprozess enthält die drei Entitäten „Reales System“, „Konzeptmodell“ und „ComputermodeLL“. Vom realen System wird das Konzeptmodell in einer Analyse- und Modellierungsphase abgeleitet. Davon ausgehend wird das ComputermodeLL in einer Programmierungs- und Implementierungsphase entwickelt, und Erkenntnisse über das reale System werden dann in der Experimentphase gewonnen (Abbildung 4-3).

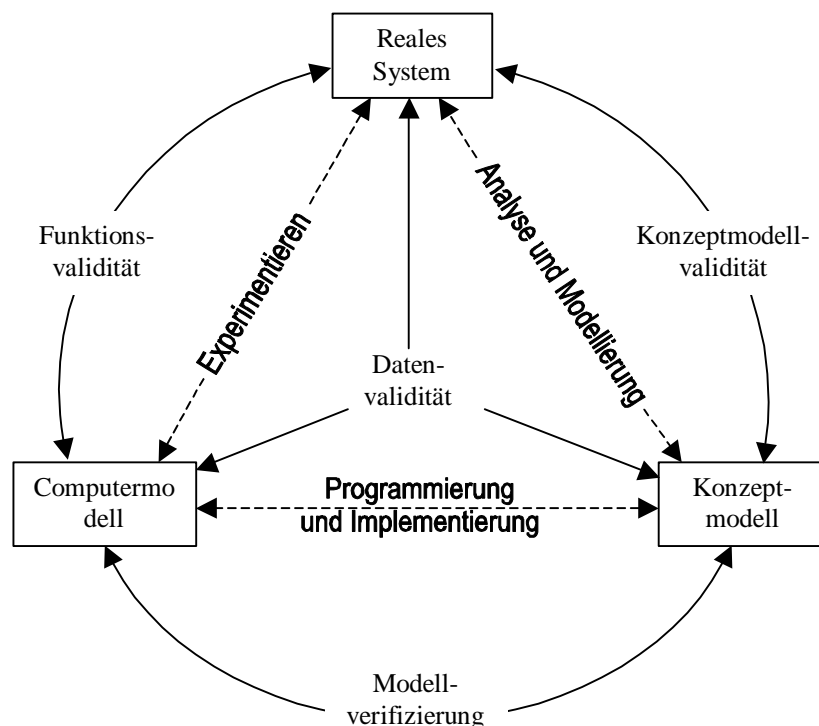


Abbildung 4-3: Vereinfachter Modellierungsprozess (nach [53])

In diesem vereinfachten Modellierungsprozess lassen sich vier Dimensionen der Prozessmodellvalidität abgrenzen, die zur Evaluation der Modellvalidität herangezogen wurden. Sie sind im Folgenden zusammen mit den Validierungstechniken (Namen in Klammern) aufgeführt, die in dieser Arbeit verwendet wurden [53].

- Die Konzeptmodellvalidität sagt aus, ob die dem Modell zugrunde liegenden Annahmen und Theorien korrekt sind und ob das Modell in der vorliegenden Form geeignet ist, adäquate Daten im Hinblick auf die Zielsetzung der Simulationsstudie zu generieren. Sie wurde in Gesprächen mit den Beteiligten des Arbeitsprozesses geprüft, die gebeten wurden, die Prozessstruktur im Hinblick auf Vollständigkeit der Vorgänge und Richtigkeit ihrer Anordnung zu bewerten (Face validity).
- Die Computermodeilverifizierung prüft, ob die Implementierung des Konzeptmodells korrekt ist. In zahlreichen Testläufen wurde geprüft, ob sich das Computermodell in Übereinstimmung mit dem Konzeptmodell verhält. Neben dem graphisch dargestellten Verlauf der Flussobjekte (Animation, Traces) wurden Simulationsergebnisse zum Testen herangezogen. Sie mussten eine vorhergesagte tendenzielle Veränderung in Abhängigkeit von veränderten Prozessvariablen zeigen (Degenerate Tests). Einige Prozessvariablen wurden graphisch dargestellt, um ihr Verhalten über die Zeit zu verifizieren (Operational Graphics).
- Die Funktionsvalidität sagt aus, ob die Simulationsergebnisse ausreichend zutreffend sind im Hinblick auf die Zielsetzung und das Anwendungsgebiet des Modells. Simulierte Evaluationsintervalle wurden mit vergleichbaren Zeitintervallen, die vom abteilungseigenen Abrechnungssystem automatisch protokolliert werden (Zeit von der Ankunft des Patienten in der Abteilung bis zur Eingabe der Abrechnungsdaten in das Terminal), verglichen. Für jeden Stundenblock des Arbeitstages wurden die Intervalldauern mittels Student's t-Test bei einem Signifikanzniveau von $p=0,05$ getestet. Das Modell musste somit neben der durchschnittlichen Intervalldauer auch die Veränderung der Intervalldauer über den Tag reproduzieren (Historical Data Validation). Zusätzlich wurden die Prozessbeteiligten mit den Ergebnissen der Simulation konfrontiert und gebeten zu beurteilen, ob die Daten mit ihren persönlichen Erfahrungen übereinstimmen (Face Validity, Predictive Validation).
- Die Datenvalidität besagt, ob die dem Modell zugrunde liegenden Daten für Erstellung, Evaluation, Testen und Experimentieren korrekt und adäquat sind. Dafür wurden einerseits die Prozessbeteiligten befragt, ob die erhobenen Daten (mittlere Vorgangsdauern und Auftretenshäufigkeiten) mit ihren persönlichen Erfahrungen über-

ein stimmten. Die Übereinstimmung der simulierten Vorgangsdauern mit den gemessenen wurden mittels nonparametrischem Goodness-of-fit Test (Kolmogorov-Smirnov-Test) bei einem Signifikanzniveau von $p=0,05$ getestet.

Die Validierung wurde am dem realen System entsprechenden Prozessmodell vor jeder Modifizierung vorgenommen, das im Folgenden Validierungsmodell genannt wird. Es wurde für die Auswertung freigegeben, nachdem alle oben beschriebenen Tests als bestanden bewertet worden waren.

4.3.5 Phase V: Auswertung

Jeder Prozessdurchlauf simulierte einen Zeitraum von einem halben Jahr (26 Wochen).

4.3.5.1 Messungen im Prozessmodell

Jedem Flussobjekt waren mehrere Timer für die unterschiedlichen Kenngrößen zugeordnet, die an definierten Punkten im Prozess gestartet und an späteren Punkten gestoppt wurden. Über eine Protokollfunktion wurden die Zeiten nach Prozessdurchlauf zur Auswertung exportiert.

4.3.5.2 Szenarien

Für jede Fragestellung wurde das Validierungsmodell abgewandelt. Die Veränderungen betrafen die Prozessstruktur, Vorgangsdauern und Ressourcenallokation.

- a) Abdomenuntersuchung: Den simulierten Vorgangsdauern der Ärzte für Untersuchung, Ausbildungstätigkeiten und Befunderstellung lagen nur Messwerte zugrunde, die bei Untersuchungen des Abdomens erfasst worden waren.
- b) Facharztszenarium: Es wurde vorausgesetzt, dass nur Experten am Arbeitsplatz beschäftigt sind. Den simulierten Vorgangsdauern für Ärzte lagen die Messwerte der Experten zugrunde. Die optimale Anzahl von Ärzten wurde in mehreren Simulationsläufen ermittelt. Alle Aktivitäten, die mit Ausbildung zu tun hatten, wurden entfernt.
- c) Digitale Infrastruktur: Alle Vorgänge, die auf die Manipulation, den Transport oder die Archivierung von Papier basierten Akten oder Filmen abzielten, wurden entfernt. Vorgänge, die auf unvollständige Informationsübermittlung via Papiermedium zurück zu führen waren, wurden ebenfalls entfernt. Interaktionen mit Computern, soweit sie die unmittelbare Untersuchung betrafen, blieben erhalten.

Die Veränderungen im Einzelnen sind im Ergebnisteil aufgeführt.

4.3.5.3 Ressourcenallokation in experimentellen Szenarien

Während die Prozessstruktur durch die jeweilige Fragestellung vorgegeben war, sollte sich die Ressourcenallokation der neu zu entwickelnden Szenarien (Facharzt- und digitale Szenarien) nach den Erfordernissen des Prozesses richten. Ziel war, eine ausgewogene Kombination aus möglichst hoher Ressourcenauslastung (R_A) bei möglichst kurzer Patientenlaufzeit (P_A) und Gerätetaktzeit (T_G) zu erreichen. Die Ressourcenauslastung stand dabei im Vordergrund; hatte eine Erhöhung der Ressourcenzahl nur einen geringen Einfluss auf P_A bzw. T_G ($< 20\%$ Verkürzung), so wurde die geringere Ressourcenzahl vorgezogen.

Die jeweilige Ressourcenallokation eines neuen Szenariums wurde ausgehend von der Ressourcenallokation des Ursprungsszenariums in zwei Schritten ermittelt. Zunächst wurde eine Anzahl von MTRA gewählt, bei der angenommen wurde, dass die zu allozierenden Ärzte verzögerungsfrei arbeiten können. Mit der so in mehreren Simulationsläufen ermittelten optimalen Anzahl Ärzte wurden mehrere Szenarien mit unterschiedlichen Anzahlen von MTRA simuliert, um hier die optimale Zahl unter obigen Gesichtspunkten zu ermitteln.

4.3.5.4 Kostenberechnung

Die Kostenberechnung bezieht sich allein auf Personalkosten. Angegeben sind die Personalkosten pro Untersuchung. Dabei wird unterschieden zwischen produktiven Kosten und unproduktiven Kosten. Letztere entstehen, wenn eine Person untätig ist, weil aus ablauftechnischen Gründen keine Aktivität durchgeführt werden kann. Bruttokosten sind die Summe aus produktiven und unproduktiven Kosten, Nettokosten bezeichnen allein die produktiven Kosten.

Als Basis für die Kostenberechnungen dienten zwei Modelle (Tabelle 4-4).

- Stundenvergütungen nach Bundesangestelltentarifvertrag (BAT) von 2002. MTRA waren nach BAT Vc eingestuft. Für die Berechnungen der Ärzte wurde angenommen, dass Experten Oberarztstatus haben, erfahrene Untersucher Assistenzärzte sind, fortgeschrittene Untersucher gerade das AiP absolvieren und Anfänger noch Studentenstatus haben. Den Ärzten im Praktikum wurde ein gewichteter Stundenlohn zugeteilt, um den unterschiedlichen Stundenlohn nach Dienstjahr zu berücksichtigen. Assistenzärzte waren mit BAT IIa und Oberärzte mit BAT Ia eingestuft.
- Kosten pro Stunde nach Berliner Haushaltsbrutto von 2002. Die Berechnungen für MTRA wurden auf Basis einer 38,5-Stunden-Woche und 220 Arbeitstagen (44 Wo-

chen) im Jahr durchgeführt. Die Berechnungen für Ärzte erfolgten auf Basis einer 48-Stunden-Woche bei 220 Arbeitstagen im Jahr.

Tabelle 4-4: Stundenlohn und Stundenkosten des Personals

Ressource	BAT	Bruttostundenlohn (2002)	Haushaltsbrutto (2002)	Stunden pro Woche	Stundenkosten
Oberarzt	Ia	23,04 €	70400 €	48	33,33 €
Assistenzarzt	Ila	19,41 €	61160 €	48	28,96 €
AiP		1. Jahr: 6,78 € 2. Jahr: 7,72 € gewichtet: 7,09 €	20370 €	48	9,64 €
MTRA	Vc	12,53 €	39790 €	38,5	23,48 €

4.4 Software

Das in dieser Arbeit verwendete Prozesssimulationstool Scitor[®] Process v3 [7] erlaubt die detaillierte Modellierung eines Prozesses unter Verwendung graphischer Mittel. Aktivitäten können Ausführungswahrscheinlichkeiten und/oder -bedingungen, stochastisch modellierte Vorgangsdauern und beliebige Ressourcen zugeordnet werden. Ressourcen können hierarchisch in Gruppen organisiert werden. Flussobjekten können in Form von Variablen beliebige Eigenschaften zugesprochen werden, die wiederum über komplexe Bedingungen und Aktionen auf Vorgangsebene den Prozessablauf beeinflussen. Der Datenaustausch mit anderen Applikationen kann über eine standardisierte Schnittstelle automatisiert werden. Mittels einer Skriptsprache können komplexe Programmabläufe automatisiert werden. Insgesamt stellt die Software ein Werkzeug für die Prozesssimulation dar, mit dem sich auch komplexe Prozesse komfortabel und flexibel modellieren lassen.

Für die Annäherung der Verteilungsfunktionen wurde Stat::Fit 2.0 von Geer Mountain Software[®] verwendet [8].

Die Aufbereitung der Mess- und Simulationsdaten wurde mit Access 2000 und Excel 2000 von Microsoft[®] Corporation durchgeführt [2, 3].

Die statistischen Auswertungen und Tests erfolgten mit XLSTAT 5.1 von Addinsoft[®] [9].

5 Ergebnisse

5.1 Prozessmodell

5.1.1 Strukturelemente

5.1.1.1 Vorgänge

Der Beobachter identifizierte 29 Einzelvorgänge, die der Übersichtlichkeit halber fünf Aufgabengebieten zugeordnet wurden. 20 Vorgänge wurden als administrative Tätigkeit, 9 als Untersuchungstätigkeit gewertet. Wo ein höherer Detailgrad für die gegebene Fragestellung nicht notwendig erschien, wurden einige der Vorgänge zu einem übergeordneten Vorgang zusammengefasst (Tabelle 5-1).

In Tabelle 5-2 sind alle Vorgänge, die im Zusammenhang mit einer Ultraschalluntersuchung beobachtet wurden, in der für das Prozessmodell als relevant beurteilten Auflösung enthalten. Für jeden Vorgang ist angegeben, welche Ressourcen für die Durchführung notwendig sind, welche(n) unmittelbare(n) Vorgänger er hat und welchem Anordnungstyp er entspricht. Die Vorgänge sind in Anlehnung an die Aufgabengebiete nummeriert.

Die Anzahl der Messwerte für jeden Vorgang mit den statistischen Beschreibungsmaßen Mittelwert (μ) und Standardabweichung (σ) der Vorgangsdauern sind in Tabelle 5-3 und Tabelle 5-4 wiedergegeben. Sie enthalten außerdem die Verteilungsfunktionen mit den im Simulationsdurchlauf ermittelten Mittelwerten und Standardabweichungen sowie den p-Werten aus dem Vergleich der simulierten mit den gemessenen Vorgangsdauern. Die Messwerte für Vorgänge der MTRA wurden bei vier verschiedenen Personen erhoben. Den Vorgangsdauern der Experten lagen die Messwerte von zwei Personen zugrunde, jenen der erfahrenen Untersucher die von drei Personen. Drei fortgeschrittene Untersucher wurden beobachtet und ein Anfänger.

Für einige Vorgänge wurden mehrere Vorgangsdauern modelliert, auch wenn sich die Annahme, dass sich einige Vorgangsdauern in Abhängigkeit von Objekteigenschaften oder von der durchführenden Ressource unterschieden, nicht in allen Fällen statistisch bestätigen ließ.

Tabelle 5-1: Sammelvorgänge mit ihren Komponenten

Nr.	Sammelvorgang	Einzelvorgänge
1e	Untersuchung vorbereiten	<ul style="list-style-type: none"> - Patient von Voruntersuchung aus Untersuchungsraum begleiten - Untersuchungsliege reinigen - Patient in Untersuchungsraum begleiten - Patientendaten am Ultraschallgerät eingeben
1h	Patient untersuchen	<ul style="list-style-type: none"> - Anamnesegegespräch - Untersuchung - Verabschiedung
1l	Untersuchung nachbereiten	<ul style="list-style-type: none"> - Untersuchung abrechnen - Befundkopien in Akte sortieren und in Umschlag stecken
1m	Befund aushändigen	<ul style="list-style-type: none"> - Befund aushändigen - evtl. Patient zur Anmeldung begleiten
3b	Akten sonstige Tätigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> - Akten zusammenführen bei doppelt angelegten Akten - Fehler (Beschriftung, Heftung) korrigieren - Sonstige Vorgänge im Zusammenhang mit inkonsistenten Akten

Tabelle 5-2: Vorgänge. U/A: Vorgang wird als Untersuchungs- bzw. Administrationstätigkeit gewertet.

Nr.	Aktivität	U/A	Ressourcen [Arbeitskraft (Material)]	Vorgänger	Typ	HA
1 Untersuchung						
1a	Patient abrufen	A	MTRA (Telefon)		Ib	0,68
1b	Telefonische Rückfrage wg. fehlender Unterlagen	A	MTRA (Telefon)	1a	Ib	0,17
1c	Patient registrieren; Akte vorbereiten	A	MTRA (Terminal)	1a; 1b	Ia	1,00
1d	Patient suchen	U	MTRA	1c	Ib	0,16
1e	Untersuchung vorbereiten	U	MTRA	1c; 1d	Ia	1,00
1f	Anforderung lesen	U	Arzt	1e	Ia	1,00
1g	Anforderung telefonisch abklären	A	Arzt (Telefon)	1f	Ib	0,08
1h	Patient untersuchen	U	Arzt (Untersuchungsraum)	1f; 1g	Ib	1,24
1i	Nachuntersuchung durch Experte	U	Arzt; Experte (Untersuchungsraum)	1h	Ib	0,22
1j	Befund verfassen und drucken	U	Arzt (Computer)	1h; 1i	Ib	1,24
1k	Befund telefonisch übermitteln	U	Arzt (Telefon)	1j	Ib	0,03
1l	Untersuchung nachbereiten	A	MTRA	1k	Ia	1,00
1m	Befund aushändigen; Patient versenden	U	MTRA	1l	Ia	1,00
2 Terminverwaltung						
2a	Anforderung beurteilen	A	Arzt		IIb	0,81
2b	Anforderung telefonisch abklären	A	Arzt (Telefon)	2a	IIb	0,18
2c	Termin heraussuchen	A	MTRA (Terminal)	2a	IIb	1,07
2d	Telefonisch Termin klären	A	MTRA (Telefon)	2a; 2b	IIb	0,81
2e	Patient anmelden	A	MTRA (Terminal)	2c	IIb	1,07
2f	Termin verschieben	A	MTRA (Terminal)		IIb	0,07
2g	Patient abmelden	A	MTRA (Terminal)		IIb	0,09
3 Aktenverwaltung						
3a	Akten vorbereiten	A	MTRA		IIa	1,00
3b	Akten sonstige Tätigkeiten	A	MTRA		IIb	0,22
3c	Telef. Rückfr. wg. fehlender Unterlagen	A	MTRA (Telefon)		IIb	0,16
4 Filmverwaltung						
4a	Archivtüten bekleben	A	MTRA		IIa	1,00
4b	Filme vom Drucker holen	A	MTRA		IIb	0,10
4c	Filme in Akte sortieren	A	MTRA	4a; 4b	IIa	1,00
5 Sonstige Tätigkeiten						
5a	Materialnachschieb	U	MTRA		IIb	0,06
5b	Sonstige telefonische Anfragen beantworten	A	Arzt (Telefon)		IIb	0,20
5c	Sonstige telefonische Anfragen beantworten	A	MTRA (Telefon)		IIb	0,33

Tabelle 5-3: Vorgangsdauern und ihre Verteilungsfunktionen. Vorgänge 1a-1m.

Nr.	Ressource / Objekteigenschaft		Messwerte			Simulation				
			n	μ [m:s]	σ [m:s]	Verteilungsfunktion für Vorgangsdauern in [s]		n	μ [m:s]	σ [m:s]
1 Untersuchung										
1a	MTRA	stationär	18	1:36	1:12	LNormal(3,78; 0,82) + 36	4151	1:38	1:03	0,405
1b	MTRA		11	1:50	1:09	Beta(1,44; 3,69; 25; 363)	728	2:01	1:02	0,472
1c	MTRA		17	1:59	2:15	LNormal(4,21; 1,12) + 8	4151	2:02	1:48	0,461
1d	MTRA		8	2:50	1:47	Triang(46; 331; 133)	696	2:47	1:01	0,420
1e	MTRA	zu Fuß	38	3:07	1:09	Beta(1,47; 3,23; 86; 420)	2486	3:17	1:11	0,529
		im Rollstuhl	10	3:47	0:29	Triang(124; 389; 195)	836	3:47	1:07	0,481
		bettlägerig	15	4:08	2:02	LNormal(4,87; 0,64) + 97	819	3:54	1:33	0,963
1f	Arzt		16	0:45	0:31	Beta(0,58; 1,83; 20; 121)	4151	0:44	0:24	0,069
1g	Arzt		5	5:49	5:43	Triang(56; 914; 337)	288	7:02	3:01	0,289
1h	Experte	Alle	43	9:44	6:17	Beta(1,20; 4,05; 132; 3255)	1460	9:39	6:24	0,759
		Abd.	18	12:35	7:34	Triang(132; 1841; 728)	1339	15:01	5:53	0,099
	Erfahrener	Alle	16	20:24	9:08	Beta(0,97; 5,12; 132; 2879)	1084	21:35	7:49	0,714
		Abd.	7	19:07	4:36	Triang(871; 1698; 1067)	1237	20:12	2:55	0,328
	Fortgeschrit- tener	Alle	47	16:01	8:44	Weibull(8,01E-4; 1,44) + 309	1138	15:27	7:30	0,656
		Abd.	21	14:44	3:55	Beta(6,32; 17,11; 340; 2460)	1100	17:26	7:28	0,299
	Anfänger	Alle	1	35:21		2121		35:21		
		Abd.	1	35:21		2121		35:21		
1i	Arzt; Experte		34	6:11	4:28	Beta(1,21; 3,19; 45; 1320)	1023	6:39	4:10	0,515
1j	Experte	Alle	32	7:00	3:30	Beta(1,75; 4,31; 104; 1122)	1460	6:45	2:57	0,546
		Abd.	14	7:46	4:11	Beta(2,4; 8,16; 108; 1831)	1339	8:15	3:28	0,152
	Erfahrener	Alle	28	11:59	4:23	LNormal(5,81; 0,66) + 327	1084	12:21	5:06	0,384
		Abd.	15	10:13	2:53	Beta(1,40; 1,20; 327; 905)	1237	10:32	2:30	0,897
	Fortgeschrit- tener	Alle	61	8:59	3:54	Beta(1,5; 3,73; 199; 1425)	1138	9:08	3:39	0,767
		Abd.	29	8:09	2:51	Beta(1,56; 2,29; 218; 935)	1100	8:34	2:45	0,663
	Anfänger	Alle	6	23:49	9:49	Triang(664; 2181; 1596)	492	24:53	4:59	0,528
		Abd.	3	24:40	12:45	Triang(664; 2181; 1596)	438	24:39	5:09	0,810
1k	Arzt		7	2:24	1:50	Triang(30; 333; 141)	143	2:48	1:02	0,162
1l	MTRA		90	2:45	1:29	Beta(3,20; 10,93; 17; 657)	4151	2:38	1:13	0,171
1m	MTRA	zu Fuß	24	0:52	1:07	LNormal(3,22; 0,96) + 9	2487	0:49	0:47	0,225
		im Rollstuhl	9	3:46	1:46	Beta(1,87; 13,56; 114; 1072)	826	3:57	1:38	0,513
		bettlägerig	9	3:45	0:51	Beta(1,87; 13,56; 114; 1072)	847	3:55	1:38	0,740

Tabelle 5-4: Vorgangsdauern und ihre Verteilungsfunktionen. Vorgänge 2a-5c.

Nr.	Ressource / Objekteigenschaft	Messwerte			Simulation				
		n	μ [m:s]	σ [m:s]	Verteilungsfunktion für Vorgangsdauern in [s]	n	μ [m:s]	σ [m:s]	Kolmogoroff- Smirnov-Test p
2 Terminverwaltung									
2a	Arzt	6	1:03	0:18	Triang(50; 95; 54)	3351	1:07	0:10	0,013
2b	Arzt	5	5:49	5:43	Triang(56; 914; 337)	727	7:26	2:56	0,128
2c	MTRA	6	0:59	0:49	Triang(28; 122; 28)	4462	0:59	0:22	0,005
2d	MTRA	23	1:36	0:55	Beta(1,49; 3,88; 22; 307)	3351	1:40	0:49	0,961
2e	MTRA	57	2:53	1:39	Beta(1,39; 4,59; 41; 621)	4462	2:58	1:34	0,242
2f	MTRA	6	2:48	2:54	Triang(33; 493; 101)	306	3:37	1:39	0,086
2g	MTRA	5	2:00	0:53	Triang(67; 188; 125)	344	2:07	0:26	0,318
3 Aktenverwaltung									
3a	MTRA	60	2:44	2:37	Beta(0,75; 6,5; 33; 1398)	4151	2:59	2:30	0,556
3b	MTRA	18	3:41	2:56	LNormal(5,01; 0,69) + 27	951	3:37	2:30	0,867
3c	MTRA	11	1:50	1:09	Beta(1,44; 3,69; 25; 363)	685	2:04	1:03	0,784
4 Filmverwaltung									
4a	MTRA	65	0:41	0:13	Triang(12; 26; 25)	4160	0:21	0:03	< 0,001
4b	MTRA	2	2:20	0:28	Triang(120; 159; 140)	4160	2:20	0:08	N/a
4c	MTRA	47	2:08	2:15	Triang(69; 166; 102)	4160	1:52	0:20	< 0,001
5 Sonstige Tätigkeiten									
5a	MTRA	6	3:47	2:34	Triang(140; 532; 157)	258	4:41	1:35	0,021
5b	Arzt	11	1:57	1:23	Beta(0,82; 1,1; 15; 250)	831	1:54	1:10	0,916
5c	MTRA	33	1:18	1:09	LNormal(3,69; 1,04) + 14	1353	1:23	1:30	0,773

Tabelle 5-5: Vergleich der Messwerte von Vorgangsdauern mit Mann-Whitney-Test bei Ärzten unterschiedlichen Ausbildungsstands.

Vorgang		Alle Untersuchungen (p-Werte)			Abdomenuntersuchung (p-Werte)		
		Fortgeschr. Untersucher	Erfahrener Untersucher	Experte	Fortgeschr. Untersucher	Erfahrener Untersucher	Experte
1h	Anfänger						
	Fortgeschr.		0,011	< 0,001		0,012	0,057
	Erfahrener			< 0,001			0,007
1j	Anfänger	< 0,001	0,001	< 0,001	0,006	0,022	0,012
	Fortgeschr.		< 0,001	0,010		0,013	0,250
	Erfahrener			< 0,001			0,015

Tabelle 5-6: Vergleich der Messwerte von Vorgangsdauern mit Mann-Whitney-Test bei MTRA mit unterschiedlichen Patienten.

Vorgang		Patient im Rollstuhl	Patient im Bett
1e	Patient zu Fuß	0,100	0,035
	Patient im Rollstuhl		0,478
1m	Patient zu Fuß	< 0,001	< 0,001
	Patient im Rollstuhl		0,395

5.1.1.2 Ressourcen

Die am Prozess beteiligten Ressourcen sind in Tabelle 5-7 aufgeführt. Die Anzahl der Ressourcen entspricht der Zuordnung im realen System.

Ärzte wurden unterschieden im Hinblick auf ihre Ultraschallerfahrung, da sich ein Einfluss dieser Variable auf die Dauer der Vorgänge 1h (Untersuchung) und 1j (Befunderstellung) zeigte (Tabelle 5-3). In den Vorgängen 1e (Untersuchung vorbereiten) und 1m (Befund aushändigen; Patient versenden) zeigte sich ein Unterschied zwischen Patienten, die zu Fuß gingen, und bettlägerigen Patienten bzw. Rollstuhlfahrern.

Für das Prozessmodell wurde eine Ressourcengruppe „Arzt“ definiert, der alle Ärzte zugeordnet sind. In der Regel war allen Vorgängen, die von einem Arzt durchgeführt wurden, die Ressourcengruppe zugeordnet; die Auswahl der Einzelressource aus der Gruppe erfolgte durch die Software. Für den Vorgang „Nachuntersuchung durch Experte“ wurde sichergestellt, dass ihr neben dem obligatorischen Experten nur einer der drei anderen Ärzte aus der Ressourcengruppe Arzt zugeordnet sein konnte.

Tabelle 5-7: Ressourcen. Die Anzahl der Ressourcen entspricht der Zuordnung im realen System.

Ressource	Anzahl	Bemerkungen
Personal		
MTRA	3	
Experte	1	Erfahrung: ca. 40.000 Untersuchungen
Erfahrener	1	Erfahrung: ca. 1.200 Untersuchungen
Fortgeschrittener	1	Erfahrung: ca. 250 Untersuchungen
Anfänger	1	Erfahrung: ca. 10 Untersuchungen
Sachmittel		
Untersuchungsraum mit Ultraschallgerät	3	
Computer zur Befunderstellung	3	
Robsys Terminal	2	
Telefon	2	

5.1.1.3 Flussobjekte

Für jeden der elf Teilprozesse wurde ein Flussobjekttyp definiert. Die Definition der Flussobjekte orientierte sich an den im realen System beobachteten Objekten und an der geforderten Detailauflösung. Einige Flussobjekte beinhalten so mehrere im realen System beobachtete Objekte. Auch finden sich einige beobachtete Objekte in mehreren Flussobjekten wieder (Tabelle 5-8).

Die Anzahl der Flussobjekte „Patient“ wurde entsprechend ihrer Wochentagsverteilung modelliert (Tabelle 5-9). Grundlage hierfür waren die Abrechnungsdaten des Robsys.

Die Ankunftszeiten der Patienten wurde analog zu den Ankunftszeiten der Abrechnungsdaten abgebildet, damit Wartezeiten originalgetreu simuliert werden konnten. Abgeleitet von Robsys-Daten eines vierwöchigen Abrechnungszeitraums wurde für jede Stunde einer Arbeitswoche (Montag bis Freitag, 8 bis 16 Uhr) die Anzahl der gleichzeitig anwesenden Patienten ermittelt und als Dreiecksfunktion abgebildet. Das Modell steuerte über diese Eckdaten die Anzahl und Startzeitpunkte der Flussobjekte „Patient“. Die Anzahl der Untersuchungen pro Patient wurde ebenfalls den Abrechnungsdaten entnommen (Tabelle 5-10). Per Verteilungsfunktion wurde jedem Flussobjekt „Patient“ zwischen einer und drei Untersuchungen zugewiesen. Im Modell wurden die Aktivitäten „Untersuchung“ sowie „Befund verfassen und drucken“ entsprechend oft durchlaufen.

Tabelle 5-8: Flussobjekte

Nr.	Teilprozess	Beobachtete Objekte	Flussobjekt	Eigenschaften (mögliche Werte)
1 Untersuchung				
	Patient	Patient Befund Akte	Patient	Anzahl der Untersuchungen (1, 2, 3) Transportart (zu Fuß, im Bett, im Rollstuhl)
2 Terminverwaltung				
	Neuer Termin	Telefonat Anforderungsschein	Termin	
	Terminänderung	Telefonat	Termin	
3 Aktenverwaltung				
	Akte vorbereiten	Akte	Akte	
	Akten sonstige Tätigkeiten	Akte	Akte	
	Telefonische Rückfrage wegen fehlender Unterlagen	Telefonat	Telefonat	
4 Filmverwaltung				
	Archivtüten bekleben	Archivtüte	Archivtüte	
	Filme archivieren	Film	Film	
5 Sonstige Tätigkeiten				
	Materialnachschieb	Material	Material	
	Anruf für Arzt	Telefonat	Telefonat	
	Anruf für MTRA	Telefonat	Telefonat	

Tabelle 5-9: Verteilung der Patienten pro Wochentag.

Wochentag	Patienten [Anzahl]				Verteilungsfunktion	Kolmogoroff-Smirnoff-Test p
	Min	Max	μ	σ		
Montag	20	40	30.1	4.4	Triang(19; 42; 30)	0,334
Dienstag	22	41	30.8	4.0	Triang(31; 42; 30)	0,823
Mittwoch	21	42	31.1	5.1	Triang(20; 44; 29)	0,442
Donnerstag	9	48	30.6	5.8	Beta(10,08; 8,07; 9; 48)	0,209
Freitag	15	36	28.7	5.4	Triang(14; 36; 36)	0,270
Alle Tage			30.3	5.0		

Tabelle 5-10: Untersuchungen pro Patient.

Untersuchungen	1	2	3	4 oder mehr
Anteil Patienten	81.0 %	16.8 %	1.9 %	0.3 %

5.1.2 Validierungsmodell

5.1.2.1 Prozessstruktur

Die logische Anordnung der Vorgänge im Validierungsszenarium ergab 11 Teilprozesse. Zusätzlich wurden sechs Teilprozesse erstellt, welche die Abwesenheit des Personals zu Mittagspausen und Einsätzen außerhalb des beobachteten Bereichs modellierten.

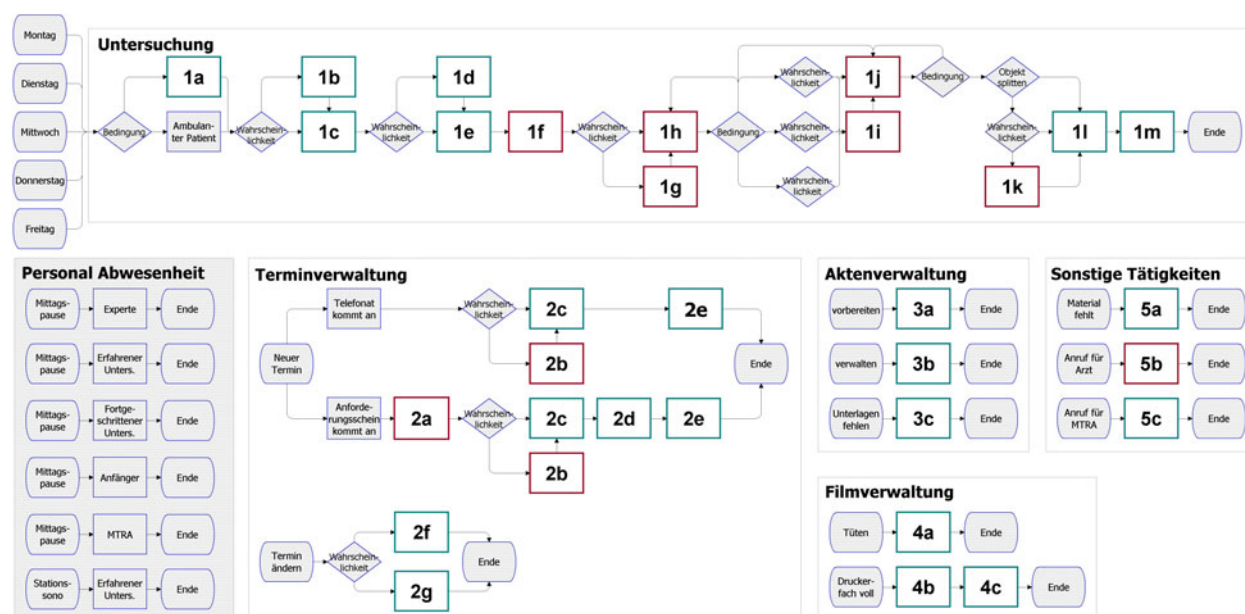


Abbildung 5-1: Flussdiagramm der Prozessstruktur; Validierungsmodell. Die grau unterlegten Vorgänge dienen der Prozesssteuerung.

5.1.2.2 Validierung

Der Student's t-Test zeigte eine gute Übereinstimmung beim Vergleich der gesamten simulierten und gemessenen Validierungsdauern. Signifikante Unterschiede zeigten sich jedoch beim Vergleich einiger Validierungsintervallauern einzelner Stundenintervalle (Tabelle 5-11 und Abbildung 5-2).

Tabelle 5-11: Vergleich der Validierungsintervallauern

Ankunftszeit des Patienten	Simulation		Robsys		Student's t-Test p
	μ [h:m]	σ [h:m]	μ [h:m]	σ [h:m]	
8:00 – 8:59	1:04	0:30	1:20	0:40	< 0,001
9:00 – 9:59	1:19	0:35	1:26	0:35	0,140
10:00 – 10:59	1:28	0:41	1:25	0:33	0,694
11:00 – 11:59	1:54	0:40	1:49	0:54	0,959
12:00 – 12:59	1:39	0:35	1:37	0:39	0,510
13:00 – 13:59	1:28	0:30	1:35	0:44	0,017
14:00 – 14:59	1:13	0:31	1:08	0:37	0,065
15:00 – 15:59	1:13	0:31	0:45	0:23	< 0,001
8:00 – 15:59	1:25	0:38	1:25	0:44	0,699

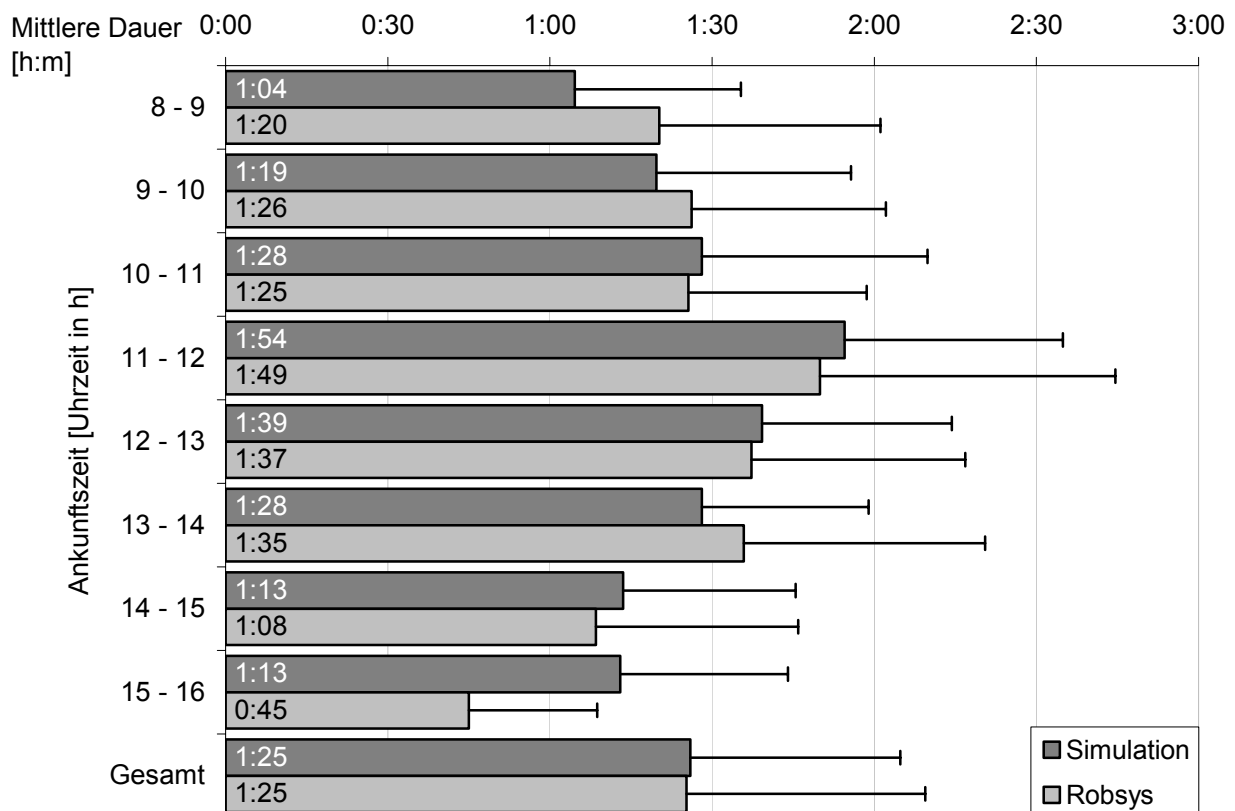


Abbildung 5-2: Validierung der Objektlaufzeiten im Validierungsintervall

5.1.3 Modellvarianten

5.1.3.1 Ausbildungsplatz

Dieses Modell entspricht dem Validierungsmodell.

5.1.3.2 Facharztszenarium

Prozessstruktur: Vom Validierungsprozess wurden alle ausbildungsorientierten Vorgänge („1i“ und Steuervorgänge, s. Abbildung 5-3) entfernt.

Ressourcenallokation: Es wurden drei Experten und zwei MTRA zugewiesen (siehe Kapitel 5.2.2). Erfahrene Untersucher, Fortgeschrittene und Anfänger wurden nicht alloziert.

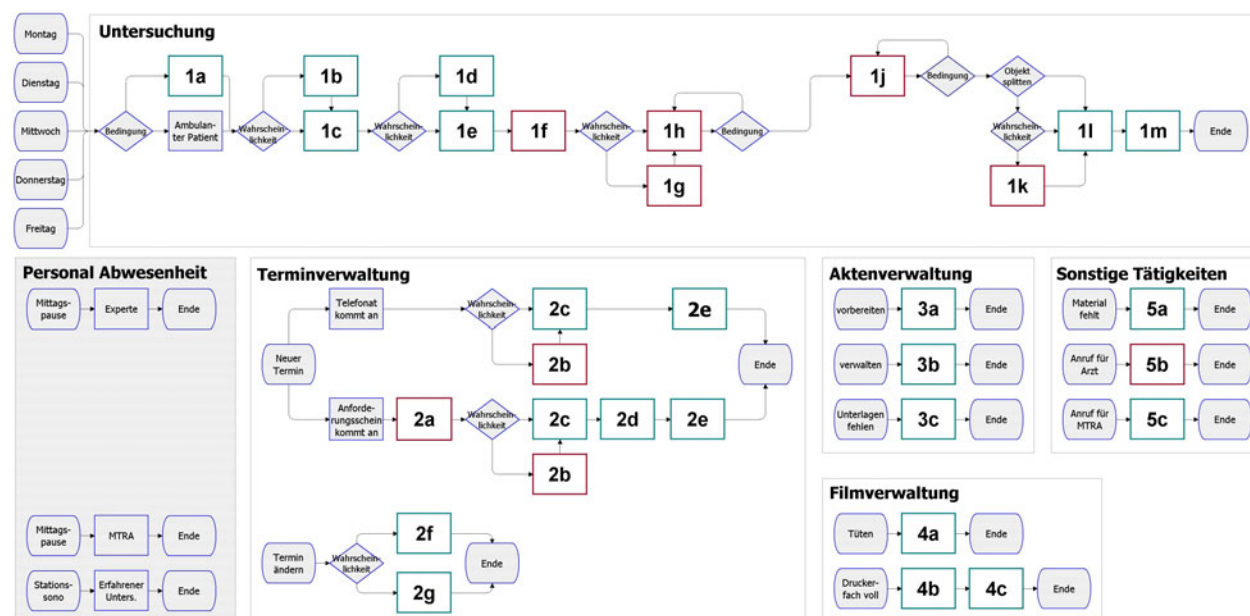


Abbildung 5-3: Prozessstruktur des Facharztszenariums.

5.1.3.3 Abdomenuntersuchung

Prozessstruktur: wie beim Ausbildungs- bzw. Facharztszenarium.

Ressourcenallokation: Die Vorgangsdauern der Aktivitäten 1h und 1j wurden neu modelliert auf Basis der Messwerte, die bei Abdomenuntersuchungen erhoben worden waren. Die Anzahl der Ressourcen entsprach dem Ausbildungs- bzw. Facharztszenarium.

Flussobjekte: Allen Patienten war genau eine Untersuchung zugeordnet.

5.1.3.4 Digitale Infrastruktur

Prozessstruktur: Aus dem Routine- bzw. Facharztszenarium wurden alle Vorgänge entfernt, die sich auf Akten-, Film- und Terminverwaltung beziehen (1c, 1l, 2a, 2c-2f, 3a-b, 4a-c). Vorgänge bezüglich Rückfragen wegen fehlender Unterlagen (1c, 3c) entfielen ebenfalls.

Ressourcenallokation: Die Ressourcenallokation entsprach initial den konventionellen Szenarien. Andere Ressourcenallokationen wurden simuliert, um dem geringeren Arbeitsaufwand Rechnung zu tragen (siehe Abschnitt 5.2.5).

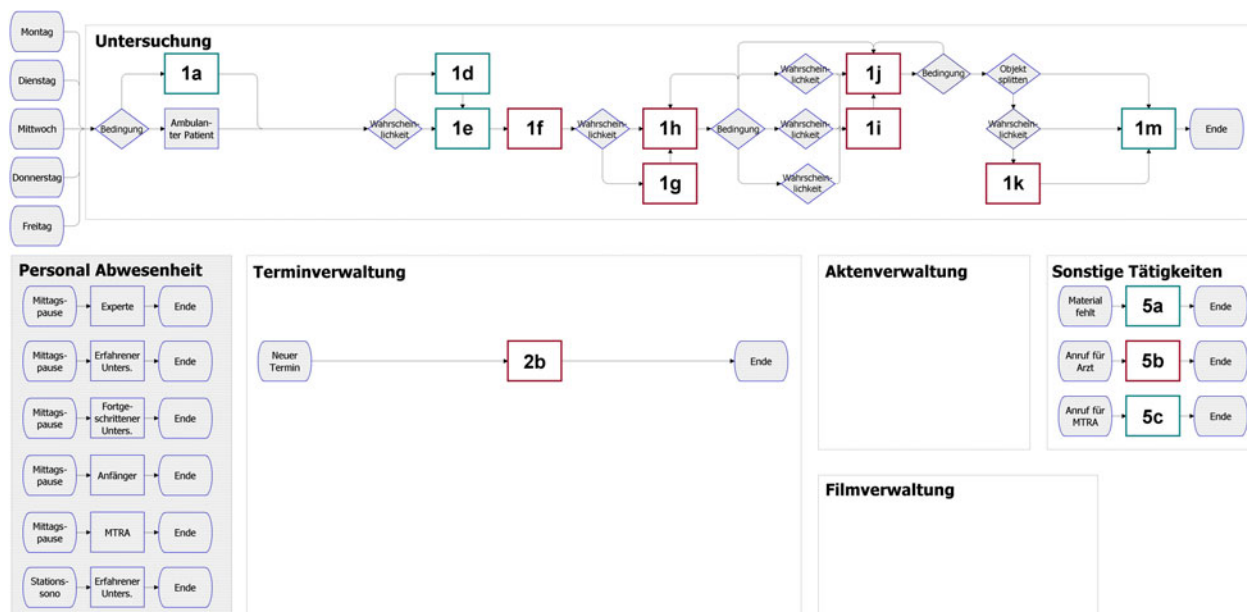


Abbildung 5-4: Prozessstruktur des Ausbildungsszenariums mit digitaler Infrastruktur.



Abbildung 5-5: Prozessstruktur des Facharztszenariums mit digitaler Infrastruktur.

5.2 Simulationsergebnisse

5.2.1 Übersicht

Die folgenden Tabellen enthalten einen Überblick über die Simulationsergebnisse. Sie sind unterteilt nach Ausbildungs- und Facharztplatz mit herkömmlicher und digitaler Infrastruktur. Wo technisch möglich, sind neben den Mittelwerten (μ) die Standardabweichungen (σ) angegeben.

In den Diagrammen werden der Übersichtlichkeit halber nur Stunden- und Minutenwerte ohne Sekunden angegeben. Softwarebedingt treten hier Rundungsfehler in der Darstellung auf, da die Sekunden generell abgerundet wurden. Die Balkenlängen geben die Verhältnisse dagegen sekundengenau wieder.

Die Szenarien sind jeweils auf Basis aller erhobener Messwerte und (für die Vorgänge 1h und 1j) auf Basis der Messwerte aus Abdomenuntersuchungen simuliert worden, sodass acht unterschiedliche Szenarien entstanden. Die Ressourcenallokation erfolgte für die Ausbildungsszenarien nach den beobachteten Verhältnissen, in den Facharzt-szenarien wie in Abschnitt 5.2.1 beschrieben. Auf Besonderheiten weiterer Ressourcenkonfigurationen wird in den folgenden Abschnitten eingegangen.

Der Simulationszeitraum betrug jeweils 26 Wochen mit fünf Arbeitstagen.

Tabelle 5-12: Anzahl der simulierten Untersuchungen und Anteil pro Untersuchergruppe

Simulations- ergebnisse		Herkömmliche Infrastruktur				Digitale Infrastruktur			
		Ausbildung		Routine		Ausbildung		Routine	
		Alle	Abd.	Alle	Abd.	Alle	Abd.	Alle	Abd.
Anzahl der simulierten Untersuchungen, Simulationszeitraum 26 Wochen									
Alle Ärzte	Anzahl	4197	4114	4130	4109	4129	4120	4181	4135
Experte	Anteil	39,6 %	32,5 %	100,0 %	100,0 %	39,2 %	32,4 %	100,0 %	100,0 %
Erfahrener	Anteil	24,1 %	30,1 %			24,0 %	29,8 %		
Fortgeschrittener	Anteil	26,4 %	26,7 %			25,9 %	26,8 %		
Anfänger	Anteil	9,9 %	10,6 %			10,9 %	11,1 %		

Tabelle 5-13: Patientendurchlaufzeiten

Simulations- ergebnisse Zeitangaben in [h:m:s] oder [m:s]		Herkömmliche Infrastruktur				Digitale Infrastruktur			
		Ausbildung		Routine		Ausbildung		Routine	
		Alle	Abd.	Alle	Abd.	Alle	Abd.	Alle	Abd.
Anwesenheit pro Patient (1a-1m, Ankunft des Patienten bis Aushändigung des Befundes)									
Alle Ärzte	μ	1:25:10	1:18:24	54:48	58:51	1:24:31	1:17:04	48:00	58:51
	σ	39:38	31:42	25:10	21:28	40:42	33:33	25:58	25:49
Experte	μ	1:09:51	1:08:41	54:48	58:51	10:05	07:15	48:00	58:51
	σ	33:07	27:13	25:10	21:28	35:27	30:10	25:58	25:49
Erfahrener Untersucher	μ	1:32:12	1:15:28			1:30:22	1:14:31		
	σ	38:01	26:53			39:38	28:41		
Fortgeschrittener	μ	1:26:26	1:17:00			1:24:50	1:15:13		
	σ	38:00	30:06			39:18	31:37		
Anfänger	μ	2:05:48	1:59:53			2:02:54	1:57:11		
	σ	37:27	28:37			35:34	31:01		
Untersuchungsdauern (1f-1j, Anforderung lesen bis Befund erstellen)									
Alle Ärzte	μ	25:18	24:50	11:54	15:02	25:26	24:52	11:47	14:56
	σ	20:56	16:48	8:54	5:57	20:14	16:48	8:43	5:54
Experte	μ	11:58	15:04	11:54	15:02	12:11	15:10	11:47	14:56
	σ	8:52	5:53	8:54	5:57	8:53	5:37	8:43	5:54
Erfahrener Untersucher	μ	29:40	21:42			29:24	21:21		
	σ	17:55	7:50			16:59	7:05		
Fortgeschrittener	μ	28:36	27:20			28:26	26:55		
	σ	19:38	17:29			19:10	16:56		
Anfänger	μ	59:04	57:15			57:21	57:47		
	σ	19:19	14:50			16:05	15:05		
Taktzeit		16:11	15:15	14:54	15:12	14:36	13:41	10:47	11:45
Wartezeiten									
Gesamt	μ	57:48	51:32	40:52	41:45	56:59	50:10	34:12	41:52
	σ	31:29	25:33	22:53	20:38	33:13	27:55	23:43	24:58
Vor Untersuchung (1a-1e)	μ	41:43	37:02	27:54	29:38	43:32	38:42	24:53	32:35
	σ	30:43	24:59	21:55	20:05	32:28	27:35	23:06	24:25
Nach Untersuchung (1j-1m)	μ	16:05	14:30	12:58	12:07	13:27	11:28	9:19	9:17
	σ	8:48	7:07	6:29	5:26	8:51	6:35	5:35	4:52

Tabelle 5-14: Arbeitsaufwand und Personalkosten

Simulations- ergebnisse Zeitangaben in [h:m:s] oder [m:s]	Herkömmliche Infrastruktur				Digitale Infrastruktur				
	Ausbildung		Routine		Ausbildung		Routine		
	Alle	Abd.	Alle	Abd.	Alle	Abd.	Alle	Abd.	
Arbeitsaufwand pro Patient									
Gesamt	μ	1:06:38	1:03:32	52:49	55:20	45:07	42:00	29:54	32:54
Untersuchung	μ	41:39	39:09	27:35	30:50	42:21	39:24	27:22	30:16
Administration	μ	24:59	24:23	25:14	24:29	2:46	2:36	2:32	2:39
Anteil Untersuchung	μ	62,5 %	61,6 %	52,2 %	55,7 %	93,9 %	93,8 %	91,5 %	92,0 %
Anteil Administration	μ	37,5 %	38,4 %	47,8 %	44,3 %	6,1 %	6,2 %	8,5 %	8,0 %
Alle Ärzte	μ	39:35	37:16	24:18	27:23	39:24	36:31	23:06	26:20
Experte	μ	27:42	32:00	24:18	27:23	27:10	30:53	23:06	26:20
Erfahrener Unters.	μ	48:16	34:56			46:52	34:13		
Fortgeschrittener	μ	37:32	32:56			37:45	32:04		
Anfänger	μ	1:11:21	1:10:49			1:10:52	1:09:55		
MTRA	μ	26:16	26:02	26:09	26:05	8:32	8:24	8:15	8:04
Personalkosten pro Untersuchung nach BAT									
Gesamt	netto	14,62 €	13,87 €	14,79 €	15,96 €	10,67 €	9,90 €	10,59 €	11,79 €
	brutto	20,10 €	19,70 €	20,91 €	20,90 €	19,62 €	19,32 €	20,09 €	20,31 €
Ärzte	netto	9,14 €	8,44 €	9,33 €	10,51 €	8,89 €	8,15 €	8,87 €	10,11 €
	brutto	11,00 €	10,67 €	14,71 €	14,73 €	10,82 €	10,53 €	14,32 €	14,48 €
MTRA	netto	5,48 €	5,44 €	5,46 €	5,45 €	1,78 €	1,75 €	1,72 €	1,68 €
	brutto	9,10 €	9,02 €	6,19 €	6,17 €	8,81 €	8,79 €	5,77 €	5,83 €
Personalkosten pro Untersuchung nach Berliner Haushaltsbrutto									
Gesamt	netto	23,57 €	22,46 €	23,73 €	25,42 €	16,26 €	15,14 €	16,06 €	17,78 €
	brutto	33,03 €	32,41 €	32,89 €	32,87 €	32,21 €	31,76 €	31,53 €	31,87 €
Ärzte	netto	13,29 €	12,27 €	13,50 €	15,21 €	12,92 €	11,85 €	12,83 €	14,63 €
	brutto	15,98 €	15,50 €	21,28 €	21,31 €	15,71 €	15,29 €	20,72 €	20,94 €
MTRA	netto	10,28 €	10,19 €	10,23 €	10,21 €	3,34 €	3,29 €	3,23 €	3,16 €
	brutto	17,05 €	16,91 €	11,61 €	11,57 €	16,50 €	16,47 €	10,81 €	10,93 €

Tabelle 5-15: Ressourcen- und Geräteauslastung

Simulations- ergebnisse Zeitangaben in [h:m:s] oder [m:s]		Herkömmliche Infrastruktur				Digitale Infrastruktur			
		Ausbildung		Routine		Ausbildung		Routine	
		Alle	Abd.	Alle	Abd.	Alle	Abd.	Alle	Abd.
Ressourcenauslastung pro Tag und Einzelressource									
Experte	Anzahl	1	1	3	3	1	1	3	3
	anwesend μ	7:10:10	6:50:43	6:48:52	6:47:15	6:55:58	6:45:58	6:42:55	6:42:46
	produktiv μ	5:56:51	5:32:08	4:19:16	4:50:40	5:41:02	5:19:34	4:09:33	4:41:20
	unproduktiv μ	1:13:19	1:18:36	2:29:36	1:56:35	1:14:55	1:26:24	2:33:22	2:01:27
	Anteil aktiv μ	83,0 %	80,9 %	63,4 %	71,4 %	82,0 %	78,7 %	61,9 %	69,8 %
Erfahre- ner Untersu- cher	Anzahl	1	1	0	0	1	1	0	0
	anwesend μ	7:18:53	6:54:35			7:03:47	6:49:20		
	produktiv μ	6:17:53	5:34:58			6:00:06	5:25:11		
	unproduktiv μ	1:00:59	1:19:36			1:03:41	1:24:09		
	Anteil aktiv μ	86,1 %	80,8 %			85,0 %	79,4 %		
Fort- geschrit- teter	Anzahl	1	1	0	0	1	1	0	0
	anwesend μ	7:09:18	6:51:09			6:58:00	6:45:56		
	produktiv μ	5:22:19	4:40:50			5:13:04	4:34:10		
	unproduktiv μ	1:46:59	2:10:19			1:44:56	2:11:46		
	Anteil aktiv μ	75,1 %	68,3 %			74,9 %	67,5 %		
Anfänger	Anzahl	1	1	0	0	1	1	0	0
	anwesend μ	6:42:33	6:42:37			6:42:33	6:42:33		
	produktiv μ	3:50:40	4:00:26			4:06:40	4:07:11		
	unproduktiv μ	2:51:54	2:42:12			2:35:53	2:35:23		
	Anteil aktiv μ	57,3 %	59,7 %			61,3 %	61,4 %		
MTRA	Anzahl	3	3	2	2	3	3	2	2
	anwesend μ	7:52:33	7:39:22	7:54:46	7:50:46	7:29:56	7:27:57	7:27:37	7:27:36
	produktiv μ	4:44:46	4:36:44	6:58:36	6:55:32	1:31:06	1:29:24	2:13:48	2:09:13
	unproduktiv μ	3:07:47	3:02:39	56:10	55:14	5:58:49	5:58:33	5:13:49	5:18:22
	Anteil aktiv μ	60,3 %	60,2 %	88,2 %	88,3 %	20,2 %	20,0 %	29,9 %	28,9 %
Geräteauslastung									
Gerätetaktzeit		48:32	45:45	44:42	45:36	43:48	41:02	32:20	35:15
Untersuchungsdauer (1h)	μ	20:07	19:23	11:54	15:02	20:30	19:36	11:47	14:56
	σ	13:48	7:57	8:54	5:57	13:40	8:01	8:43	5:54
Patient im Raum (1e-1i)	μ	42:30	40:49	26:35	29:16	42:02	40:08	24:49	29:07
	σ	25:33	20:43	15:26	12:39	24:20	20:25	15:04	13:02
Quotient U/R	Anteil	49,6 %	52,9 %	46,8 %	54,8 %	51,1 %	54,5 %	49,6 %	55,0 %

5.2.2 Ressourcenzuteilung im Facharztszenarium

Die Simulation des Facharztszenariums mit drei MTRA und einer unterschiedlichen Anzahl von Experten ergab ab drei Experten keine Verkürzung der Anwesenheitszeit der Ärzte und MTRA mehr, sodass lediglich die unproduktiven Zeiten anstiegen (Abbildung 5-6). Die ausgeprägteste Verkürzung der Patientendurchlaufzeit ergab sich bei der Veränderung von 2 auf drei Experten (-35,9 % gegenüber -14 % beim Wechsel von 3 auf 4 Experten, Abbildung 5-7). Ein ähnliches Bild zeigte sich auch bei der Gerätetaktzeit (-22,2 % gegenüber -8,8 %, Abbildung 5-8). Die Geräteauslastung nahm dabei um 30,5 % bzw. 10,7 % zu. Bei den gegebenen Rahmenbedingungen erschien daher im Facharztszenarium die Simulation mit 3 Experten am sinnvollsten.

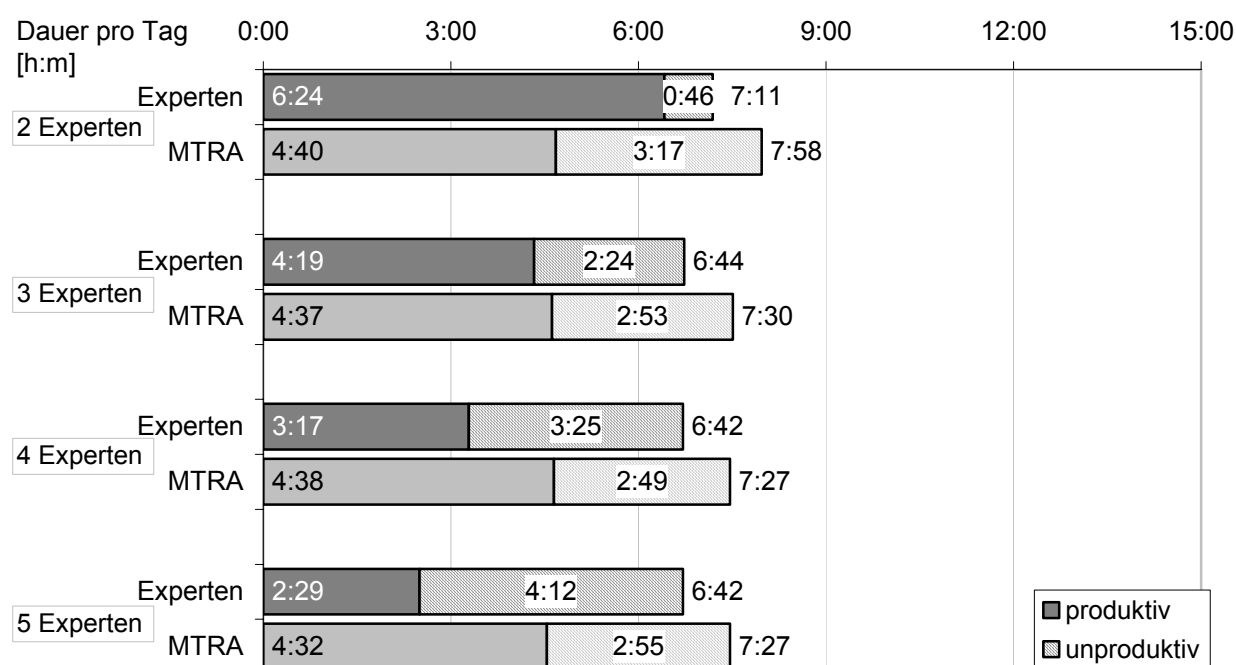


Abbildung 5-6: Ressourcenauslastung pro Tag im Facharztszenarium. 3 MTRA, 3 Ultraschalleinheiten. Die Angaben sind Durchschnittswerte pro Einzelperson.

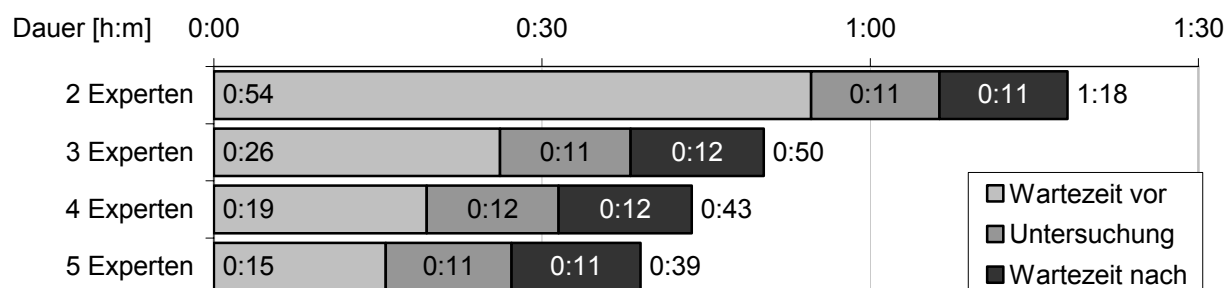


Abbildung 5-7: Patientendurchlaufzeiten im Facharztszenarium. 3 MTRA, 3 Ultraschalleinheiten.

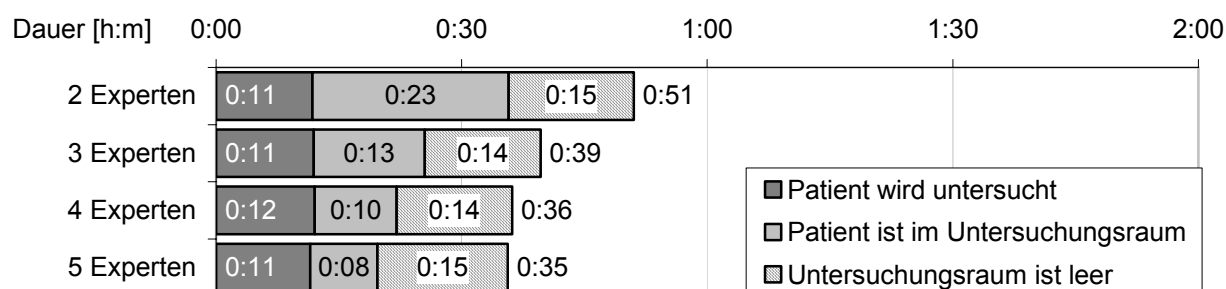


Abbildung 5-8: Gerätetaktzeit und –auslastung im Facharztszenarium. 3 MTRA, 3 Ultraschalleinheiten.

Im zweiten Schritt wurde ermittelt, wie viele MTRA im Facharztszenarium mit drei Experten sinnvoll eingesetzt sind. Ein Optimum mit geringer Verzögerung der Arbeit der Experten, kurzen Patientendurchlaufzeiten und kurzer Gerätetaktzeit mit hoher Geräteauslastung zeichnete sich bei 2 MTRA ab (Abbildung 5-9, Abbildung 5-10, Abbildung 5-11).

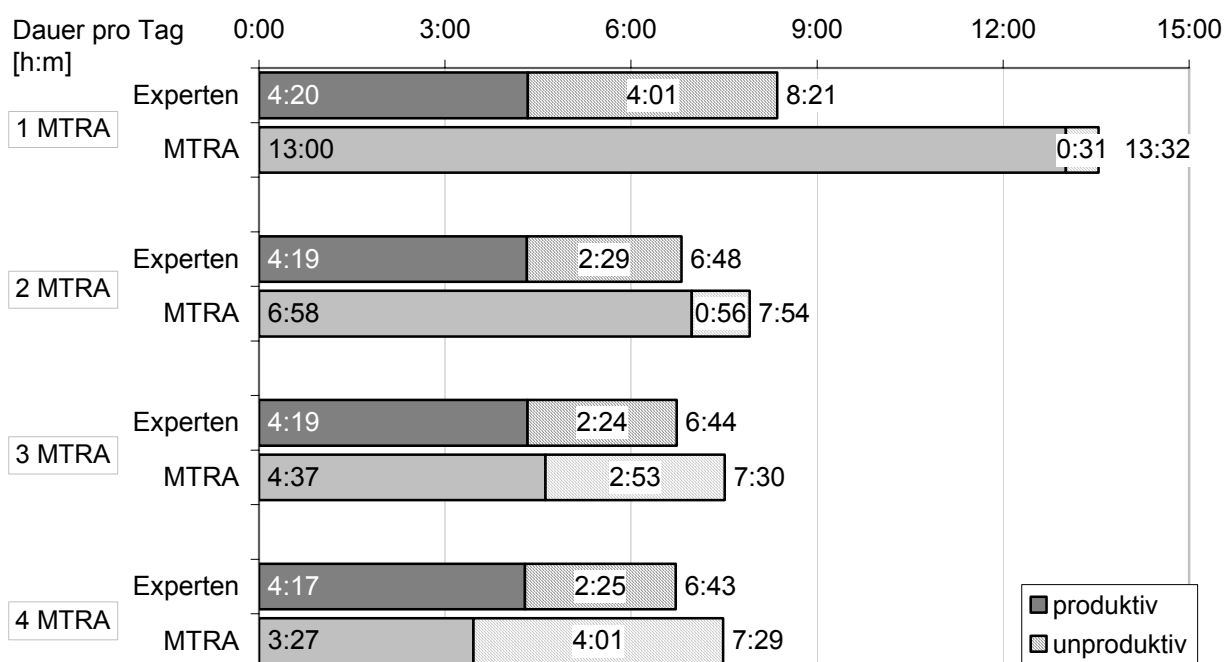


Abbildung 5-9: Ressourcenauslastung pro Tag im Facharztszenarium. 3 Experten, 3 Ultraschalleinheiten. Die Angaben sind Durchschnittswerte pro Einzelperson.

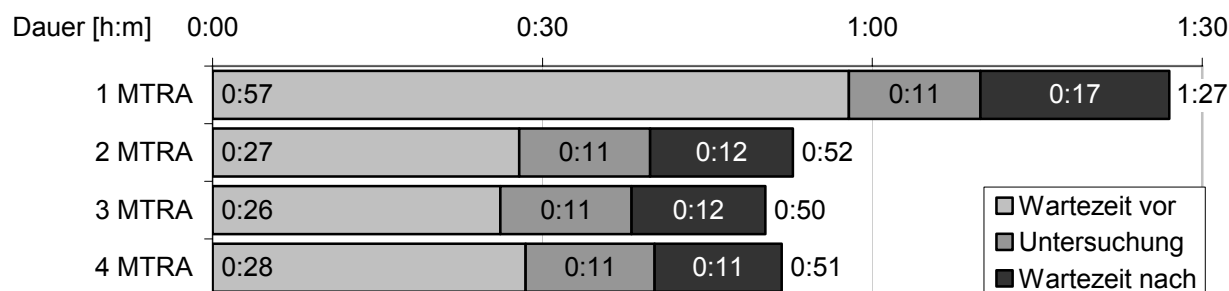


Abbildung 5-10: Patientendurchlaufzeit im Facharztszenarium. 3 Experten, 3 Ultraschalleinheiten.

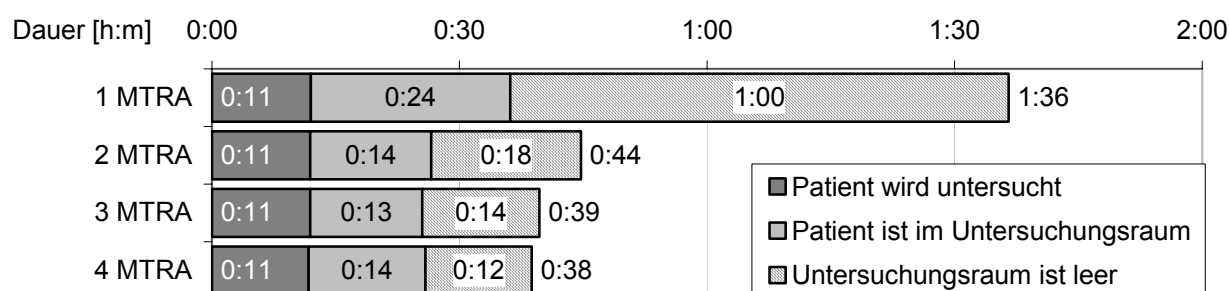


Abbildung 5-11: Gerätetaktzeit und Raumauslastung im Facharztszenarium. 3 Experten, 3 Ultraschalleinheiten.

5.2.3 Ultraschalluntersuchung des Abdomens

Für eine Abdomenuntersuchung unter Ausbildungsverhältnissen wurden bei konventioneller Infrastruktur durchschnittlich 1:03:32 h Nettoarbeitsaufwand ermittelt. Davon entfielen 39:09 min auf Untersuchungs- und 24:23 min auf Administrationstätigkeiten. In einem Facharztszenarium verkürzte sich der Gesamtnettoaufwand auf 55:20 min mit Anteilen von 30:50 min für Untersuchungs- und 24:29 min für Administrationstätigkeiten (Tabelle 5-14 und Abbildung 5-12). Abbildung 5-18 zeigt den Arbeitsaufwand pro Abdomenuntersuchung nach Ausbildungsstand aufgeschlüsselt.

Die Kosten sind auf Basis des Berliner Haushaltsbruttos berechnet. Sie fielen trotz weniger Personalressourcen für das Facharztszenarium höher aus als für das Ausbildungsszenarium (Abbildung 5-13).

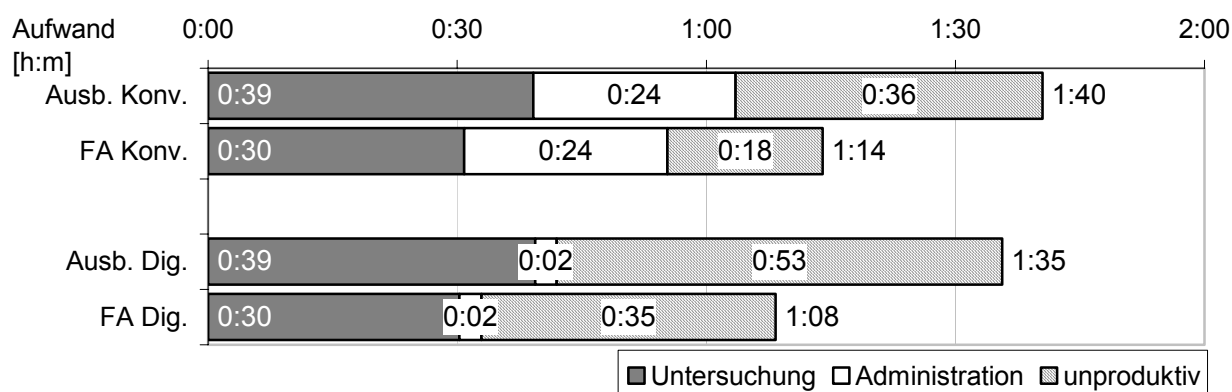


Abbildung 5-12: Arbeitsaufwand pro Patient mit einer Abdomenuntersuchung. Ausbildung: 4 Ärzte, 3 MTRA; Facharzt: 3 Experten, 2 MTRA. 3 Ultraschalleinheiten.

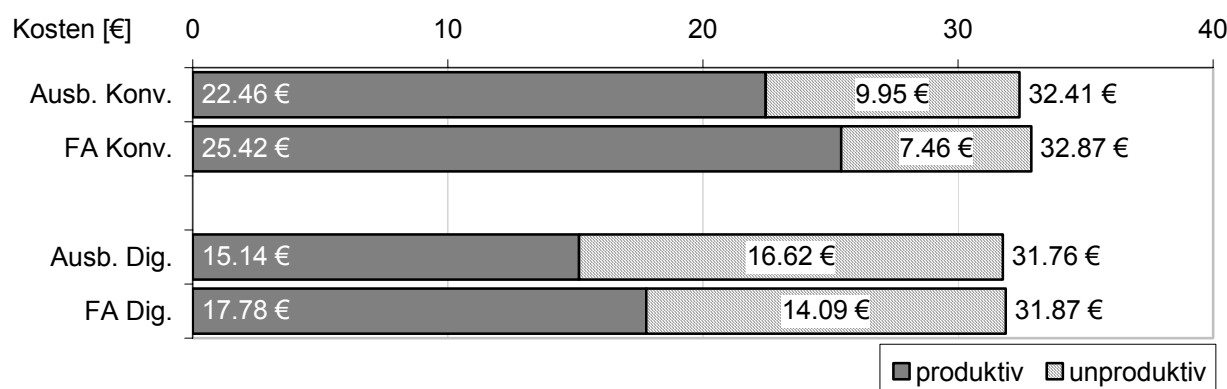


Abbildung 5-13: Kosten pro Abdomenuntersuchung. Ausbildung: 4 Ärzte, 3 MTRA; Facharzt: 3 Experten, 2 MTRA. 3 Ultraschalleinheiten.

5.2.4 Ausbildungs- vs. Facharztszenarium

Im Facharztszenarium sank der Untersuchungsaufwand gegenüber dem Ausbildungsszenarium um 33,8 % (Alle Untersuchungen) bzw. 21,2 % (Abdomenuntersuchungen). Bei gleichbleibendem Administrationsaufwand sank der Gesamtaufwand um 20,7 % bzw. 12,9 % (Abbildung 5-12). Während die Patienten von der schnelleren Geschwindigkeit der Experten durch kürzere Anwesenheitszeiten profitierten (Abbildung 5-15), veränderte sich die Gerätetaktzeit nicht wesentlich. Die Geräteauslastung nahm im Facharztszenarium jedoch deutlich ab (Abbildung 5-16).

Die Personalnettokosten für Ärzte fielen für die Auszubildenden z.T. deutlich niedriger aus als für die Experten (Abbildung 5-19), obwohl sie z.T. deutlich länger für die Untersuchung und Befunderstellung benötigten (Abbildung 5-18). Im Falle des PJ entstehen Kosten nur durch die Nachbefundung.

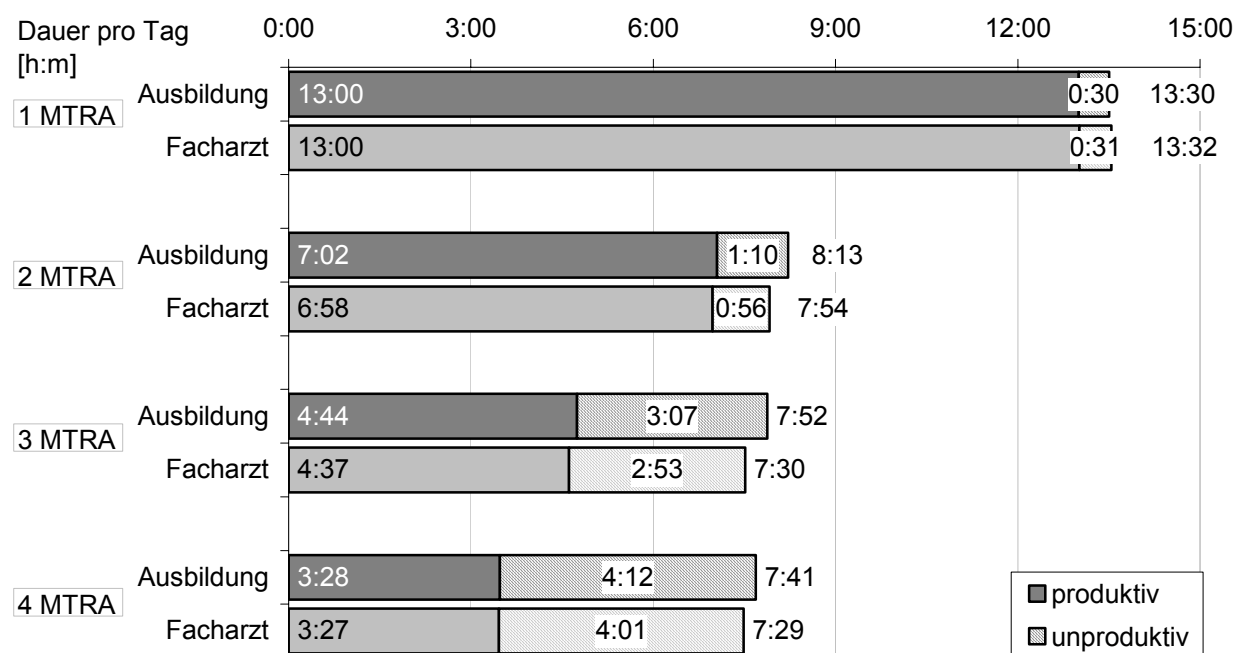


Abbildung 5-14: Auslastung der MTRA in Abhängigkeit von ihrer Anzahl in beiden Szenarien. Ausbildung: 4 Ärzte; Facharzt: 3 Experten. 3 Ultraschalleinheiten.

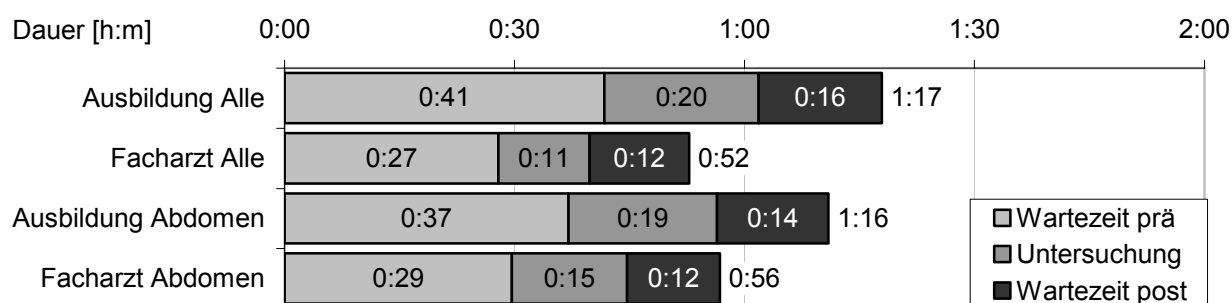


Abbildung 5-15: Patientendurchlaufzeiten. Vergleich von Ausbildungs- und Facharztszenarien. Ausbildung: 4 Ärzte, 3 MTRA; Facharzt: 3 Experten, 2 MTRA. 3 Ultraschalleinheiten.

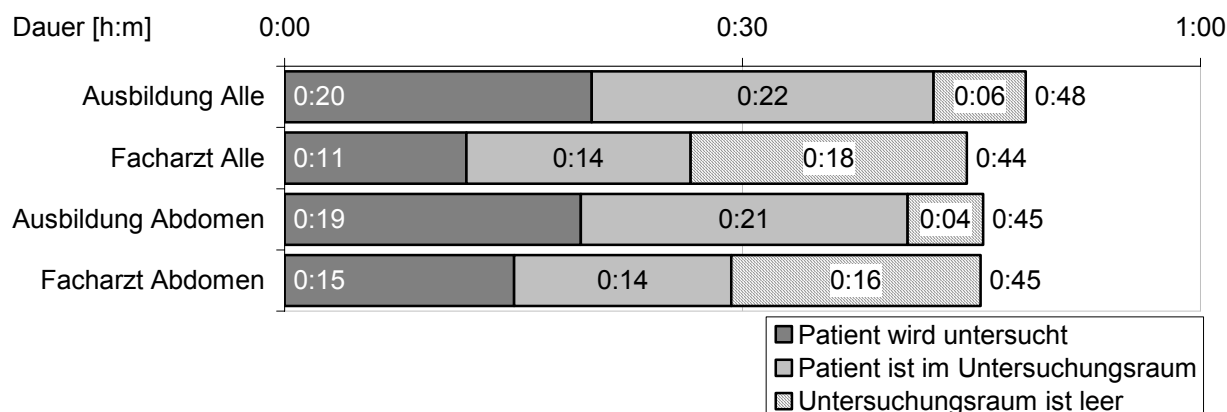


Abbildung 5-16: Gerätetaktzeit und -auslastung. Vergleich von Ausbildungs- und Facharztszenarien. Ausbildung: 4 Ärzte, 3 MTRA; Facharzt: 3 Experten, 2 MTRA. 3 Ultraschalleinheiten.

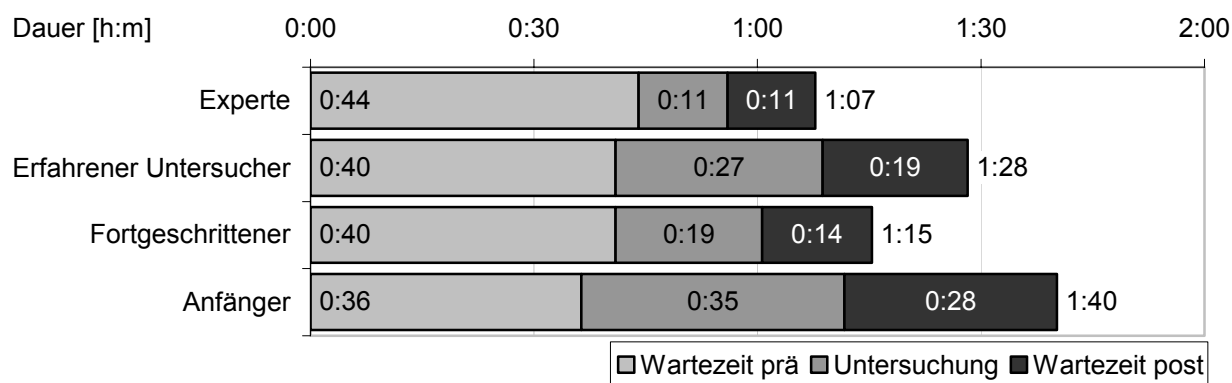


Abbildung 5-17: Patientendurchlaufzeit im Ausbildungsszenarium (alle Untersuchungen) nach Ausbildungsstand. 3 MTRA, 3 Ultraschalleinheiten.

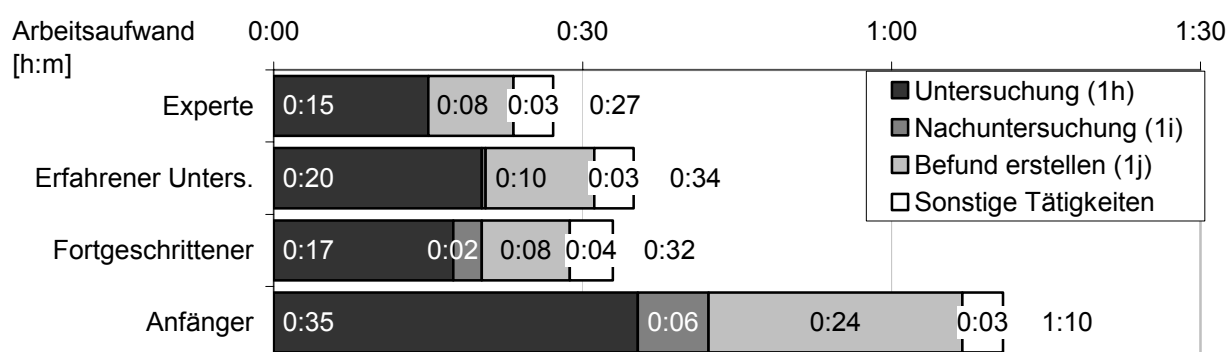


Abbildung 5-18: Nettoarbeitsaufwand für Ärzte nach Ausbildungsstand pro Patient mit einer Abdomenuntersuchung. 3 MTRA, 3 Ultraschalleinheiten.

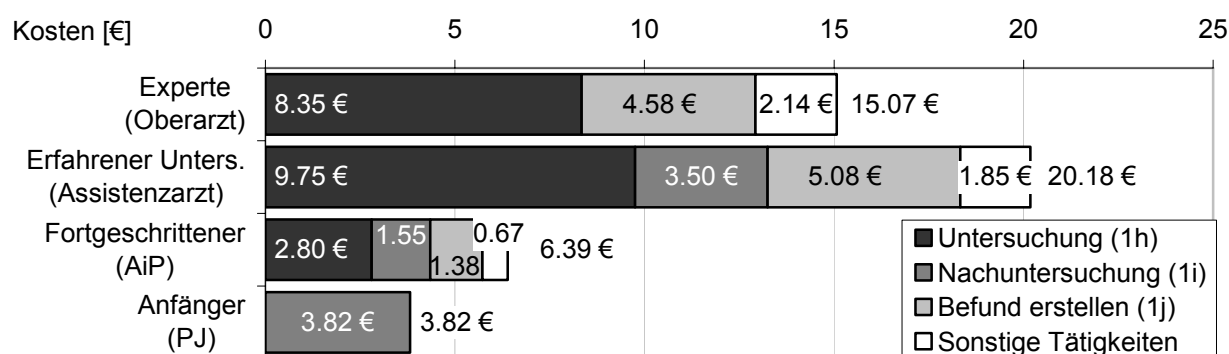


Abbildung 5-19: Nettokosten für Ärzte nach Ausbildungsstand und Status pro Patient mit einer Abdomenuntersuchung. 3 MTRA, 3 Ultraschalleinheiten.

5.2.5 Digitale Infrastruktur

Die Simulation einer digitalen Infrastruktur hat keinen Einfluss auf die Vorgänge, die der Untersuchungsgruppe zugerechnet worden waren. Der Aufwand für administrative Vorgänge wird dagegen um bis zu 89,3 % reduziert, sodass sein Anteil am Aufwand für einen Patient von Werten zwischen 37,5 % und 47,8 % auf Werte von 6,1 % bis 8,9 % absinkt (Tabelle 5-14 und Abbildung 5-20).

Die Ressourcenauslastung für Ärzte bleibt demzufolge annähernd gleich, während der Aufwand für MTRA abnimmt. In der Simulation des Facharztszenariums mit 3 Experten und verschiedenen Anzahlen von MTRA zeigte sich, dass der verbleibende Aufwand auch von einem einzelnen MTRA durchgeführt werden kann (Abbildung 5-21). Die Anwesenheitszeit der Patienten nimmt sogar leicht ab gegenüber dem Einsatz von 2 oder mehr MTRA (Abbildung 5-22).

Die Gerätetaktzeit war am kürzesten, wenn drei Fachärzte und zwei MTRA mit einer digitalen Infrastruktur arbeiteten. (Abbildung 5-23).

Die Personalkosten sind auf Basis des Berliner Haushaltsbrutto berechnet. Die Nettokosten spiegeln den verringerten Arbeitsaufwand durch die digitale Infrastruktur wieder. Die Bruttokosten sinken erst, wenn dem verringerten Aufwand entsprechend Personal reduziert wird (Abbildung 5-24).

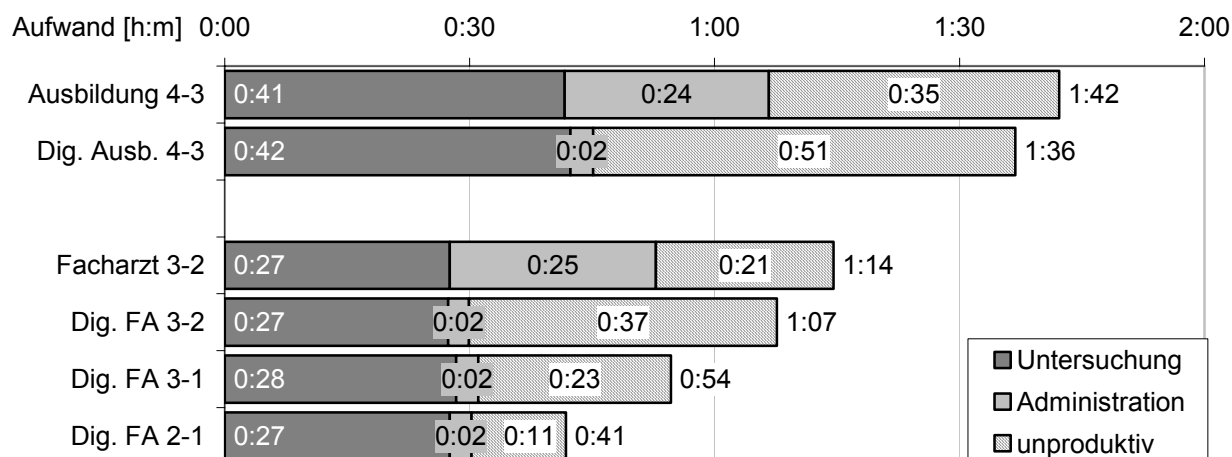


Abbildung 5-20: Nettoarbeitsaufwand pro Patient in Ausbildungs- und Facharztszenarien (FA) mit und ohne digitale Infrastruktur (Dig.). Die Anzahl der Ärzte und MTRA ist jeweils angegeben (Ärzte – MTRA). 3 Ultraschalleinheiten.

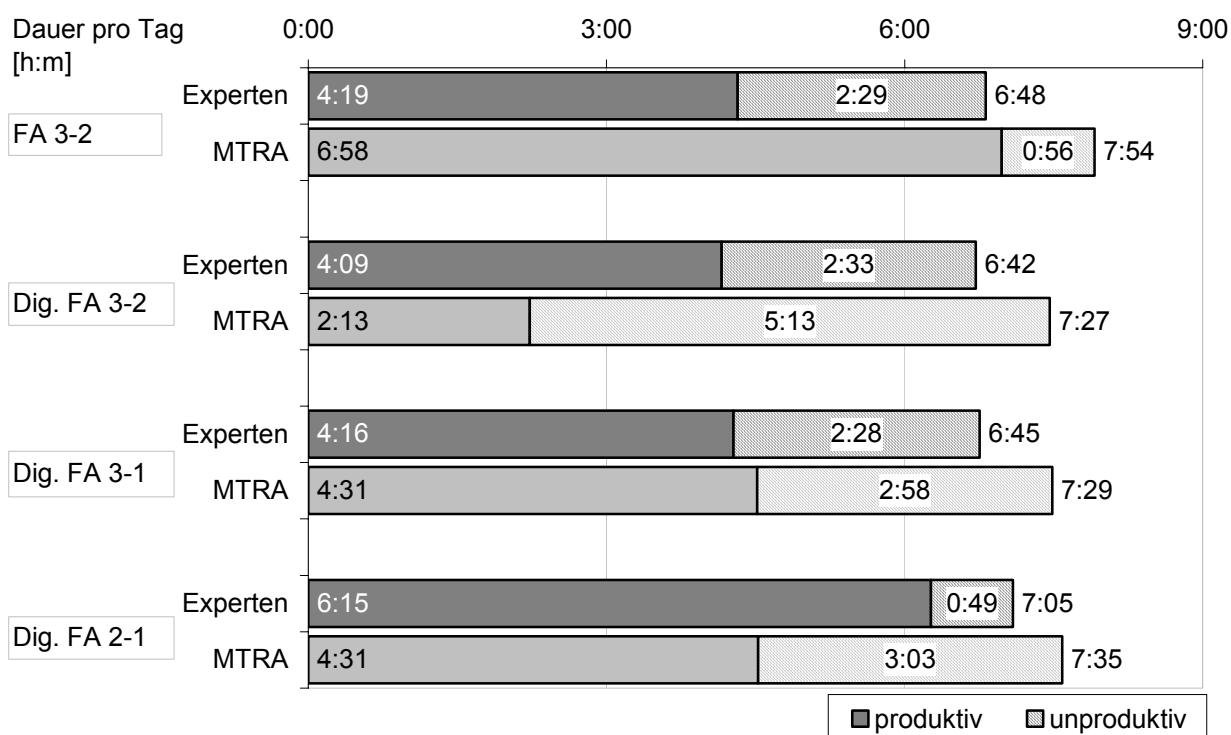


Abbildung 5-21: Ressourcenauslastung im Facharztszenarium (FA) mit und ohne digitale Infrastruktur (Dig.). Die Angaben sind Durchschnittswerte pro Einzelperson. Die Anzahl der Experten und MTRA ist jeweils angegeben (Experten – MTRA). 3 Ultraschalleinheiten.

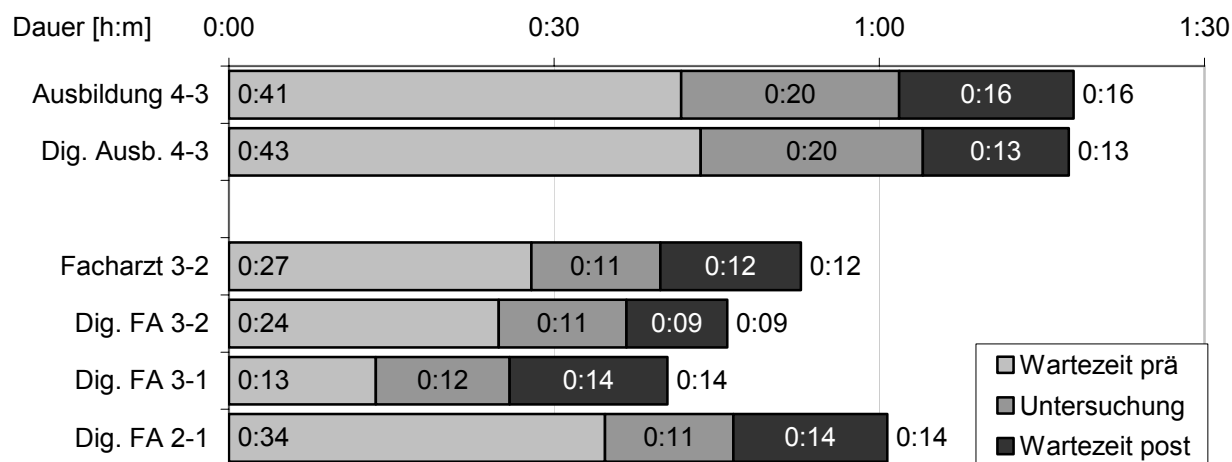


Abbildung 5-22: Patientendurchlaufzeit in Ausbildungs- und Facharztszenarien (FA) mit und ohne digitale Infrastruktur (Dig.). Die Anzahl der Experten und MTRA ist jeweils angegeben (Experten – MTRA). 3 Ultraschalleinheiten.

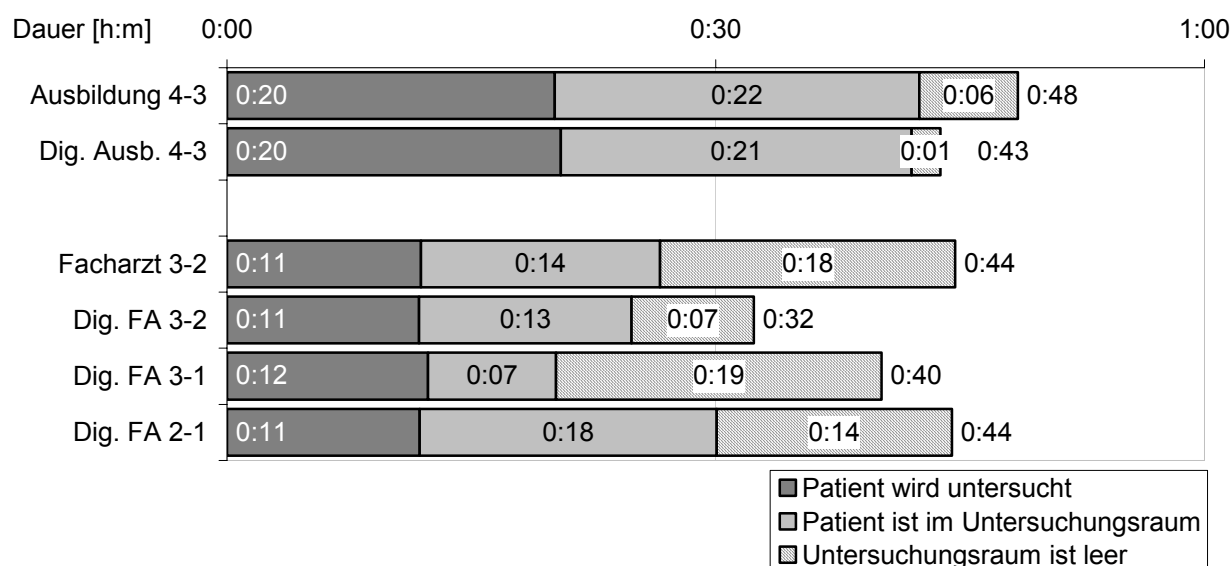


Abbildung 5-23: Gerätetaktzeit und -auslastung in Ausbildungs- und Facharztszenarien (FA) mit und ohne digitale Infrastruktur (Dig.). Die Anzahl der Experten und MTRA ist jeweils angegeben (Experten – MTRA). 3 Ultraschalleinheiten.

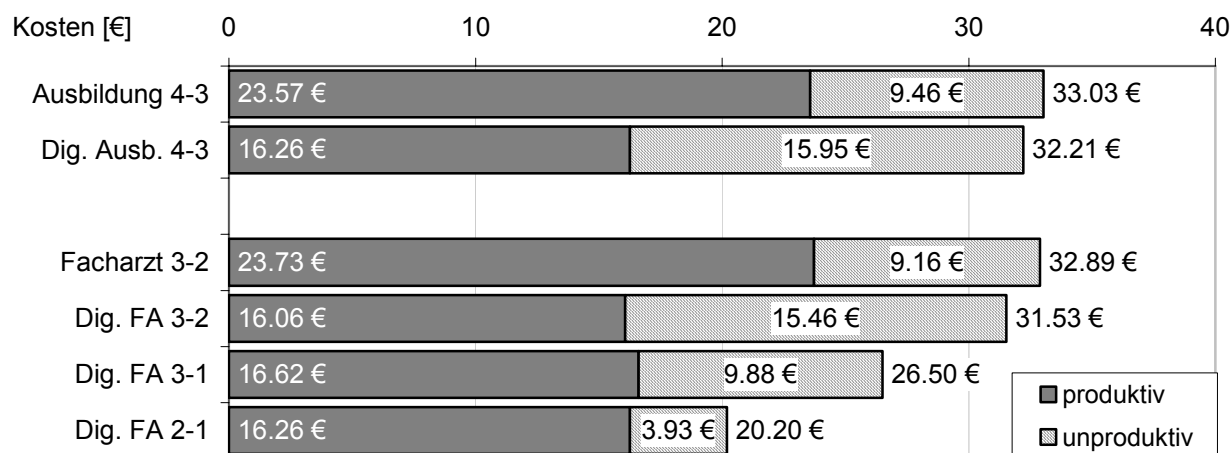


Abbildung 5-24: Personalkosten pro Patient (alle Untersuchungsarten) mit produktivem und unproduktivem Anteil in Ausbildungs- und Facharztszenarien (FA) mit und ohne digitale Infrastruktur (Dig.). Die Anzahl der Experten und MTRA ist jeweils angegeben (Experten – MTRA). 3 Ultraschalleinheiten.

6 Diskussion

6.1 Prozessmodell erstellen

Ein Prozessmodell ist in seiner Struktur, seinen Ressourcen und Flussobjekten nach der Zielsetzung ausgelegt, mit der es erstellt wurde. Versucht wird, das Modell so einfach wie möglich und komplex wie nötig zu gestalten. Einerseits sollen alle Simulationsziele mit hinreichender Aussagekraft erreicht werden, andererseits soll der Aufwand für Datenerhebung, Modellgestaltung, Testen, Verifizierung, Validierung und Datengenerierung so gering wie möglich gehalten werden. Auch nimmt die Zuverlässigkeit der Simulationsdaten ab einem optimalen Detailgrad wieder ab, weil zu komplexe Interdependenzen zwischen den Vorgängen, Flussobjekten und Ressourcen nicht mit vertretbarem Aufwand ausreichend genau gemessen und modelliert werden können. Abbildung 6-1 zeigt schematisch den Zusammenhang zwischen Komplexität und Nutzwert eines Prozessmodells.

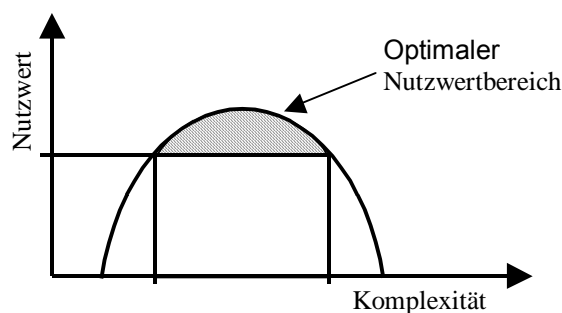


Abbildung 6-1: Schematischer Zusammenhang zwischen Komplexität und Nutzwert eines Simulationsmodells (nach [47])

6.1.1 Die Wahl der Kenngrößen

Prozessqualität wird über unterschiedliche Parameter (Indikatoren, Kenngrößen) erfasst. Die Wahl der Parameter ist von der Art des Prozesses sowie von der Sichtweise des Betrachters abhängig: Was erachtet er als entscheidend für die Beurteilung von Prozessqualität? Neben metrisch erfassbaren Messgrößen wie der Zeit lassen sich auch subjektive Bewertungen heranziehen wie z.B. die Kunden- oder Mitarbeiterzufriedenheit. Die Erfassung von Zeit macht nur in Bereichen Sinn, deren Abläufe determiniert und in hohem Maße standardisierbar sind und damit auf dieser Ebene verglichen werden können.

Im vorliegenden Fall basieren die Kenngrößen auf der Zeit, die für verschiedene Abschnitte des Prozesses benötigt wird. Zeit ist stetig skaliert sowie exakt und objektiv messbar und somit unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten eine willkommene Messgröße.

Die gewählten Kenngrößen ermöglichen eine Beurteilung der Prozessqualität aus Sicht des Patienten, des Personals und des Ökonoms.

- Patientendurchlaufzeiten geben Auskunft über Wartezeiten vor und nach der Untersuchung am Patienten sowie über die eigentliche Untersuchungsdauer. Die Wartezeit wird von Patienten als ein maßgeblicher Faktor der Prozessqualität eingestuft [60].
- Der Arbeitsaufwand pro Patient oder Untersuchung ist ein direktes Maß der Effizienz eines Arbeitsprozesses. An ihr kann abgelesen werden, ob Veränderungen im Prozessablauf weniger Arbeitsaufwand mit sich bringen. In der Regel ist dies der Fall, wenn neue Techniken eingeführt werden, die direkten Einfluss auf die Art und Anzahl einzelner Vorgänge innerhalb einer Untersuchung haben. Weniger Aufwand für das gleiche Ergebnis bedeutet in der Regel eine Fokussierung der Arbeit auf die wesentlichen Tätigkeiten, was von den Prozessbeteiligten subjektiv häufig als angenehm empfunden wird.
- Die Personalressourcenauslastung ist ebenfalls ein direktes Maß für die Effizienz. Bei gleich bleibendem Arbeitsaufwand lassen sich durch Veränderungen in der Anordnung von Vorgängen möglicherweise Zeiten der erzwungenen Untätigkeit verringern.
- Die Personalkosten pro Patient oder Untersuchung beziehen zum reinen Arbeitsaufwand noch den Status der beteiligten Personen in die Effizienzbeurteilung ein. Weniger erfahrene Untersucher verursachen in der Regel weniger Kosten, dafür wird die Ergebnisqualität möglicherweise verringert.
- Die Geräteauslastung gibt an, wie gut das vorhandene Gebrauchsmaterial vom Prozess genutzt wird. Eine höhere Auslastung bedeutet unter ökonomischen Gesichtspunkten eine schnellere Amortisierung der Investitionskosten für das Gerät.

6.1.2 Prozessstruktur ermitteln

6.1.2.1 Vorgänge

Die Definition der Vorgänge richtete sich nach dem Grundsatz, die Prozessstruktur so einfach zu halten, wie bei der gegebenen Fragestellung vertretbar war. Vorgänge, die regelmäßig hintereinander durch die selbe Person ausgeführt wurden und keinen separaten Einfluss auf den Verlauf der Flussobjekte oder die Kenngrößenermittlung hatten, wurden zu übergeordneten Vorgängen zusammen gefasst.

6.1.2.2 Ressourcenallokation

Im Vorfeld wird ermittelt, welche Arbeitsschritte von welcher Arbeitskraft durchgeführt werden (hier: Arzt oder MTRA). Zudem wird festgehalten, welche Sachmittel für jeden Arbeitsschritt benötigt werden. Dabei brauchen für die reine Effizienzbetrachtung nur die Sachmittel modelliert zu werden, deren Verfügbarkeit eingeschränkt ist, da sie den Prozessverlauf bremsend beeinflussen können. Soll die Simulation als Grundlage für eine umfassende Kostenberechnung dienen, müssen alle Sachmittel erfasst werden. Beim beobachteten Prozess wurden als eingeschränkt verfügbare Sachmittel Untersuchungsräume mit Ultraschallgerät und Computer für die Befunderstellung identifiziert. Jederzeit und uneingeschränkt verfügbare Sachmittel, die keinen oder einen vernachlässigbaren Einfluss auf den Objektfluss im Prozess haben, waren z.B. Druckerpapier oder Ultraschallgel. Auf ihre Modellierung wurde verzichtet, da sich die angestrebten Kostenberechnungen nur auf Personalkosten bezogen.

6.1.2.3 Flussobjekte

Je nach den Merkmalen, die den einzelnen Flussobjekten zu Eigen sind, nehmen Flussobjekte einen unterschiedlichen Weg durch den Prozess oder durchwandern ihn mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Die Merkmale und ihr Einfluss auf den Prozessweg werden im Vorfeld ermittelt, damit sie im Prozess modelliert werden können. Ist die Durchführung bestimmter Tätigkeiten vom Vorhandensein oder Status spezifischer Merkmale abhängig, lässt sich der Zusammenhang zwischen Merkmal und Effekt leicht erkennen. Hat ein Merkmal einen quantitativen Einfluss z.B. auf die Vorgangsdauer, ist der Zusammenhang oft nicht so leicht zu erkennen. Hier wird man über genaue Beobachtung, Thesenbildung und statistische Evaluation zur Kenntnis über den kausalen Zusammenhang gelangen müssen.

Auch hier gilt das Prinzip des richtigen Maßes. Da der zeitliche und organisatorische Aufwand der Messungen, des Modellierens und der Evaluation mit jedem zusätzlichen Merkmal steigt, muss eine der Zielsetzung angemessene Form der Objektbeschreibung gewählt werden. Im untersuchten Prozess wurden als Merkmale mit wesentlichem Einfluss auf die Durchlaufzeit die Transportart (zu Fuß, im Rollstuhl oder im Bett) und die Zahl der Untersuchungen pro Patient gewählt. Denkbare weitere Einflüsse auf die Untersuchungsdauer wären die Art der Untersuchung, die Verdachtsdiagnose mit der sich daraus ergebenden genauen Fragestellung, die körperliche Konstitution des Patienten und seine Kooperationsbereitschaft (Compliance). Der Einfluss dieser Merkmale findet sich in den statistischen Schwankungen der Vorgangsdauern wieder.

Im vorliegenden Prozess wurden zum Teil mehrere im realen System beobachtete Objekte zu einem Flussobjekt zusammen gefasst. Dies ist hier zulässig, weil es keinen Einfluss auf die im Vorfeld definierten Kenngrößen hat. Der Vorteil liegt in einer geringeren Komplexität und damit besseren Handhabbarkeit des Modells.

6.1.2.4 Teilprozesse

Eine Reihe von bekannten kausalen Zusammenhängen wurden im vorliegenden Modell statistisch modelliert. Dies betrifft die Zusammenhänge zwischen der eigentlichen Untersuchung (Hauptprozess) und den Teilprozessen. Beispiel: Teilprozesse „Untersuchung“ und „Anmeldung“. Zu jeder Untersuchung gehört eine Anmeldung. Der Vorgang der Anmeldung findet in praxi mehrere Tage bis wenige Minuten vor der Untersuchung statt, wobei im Arbeitsablauf ständig Anmeldungen und Untersuchungen parallel laufen. Die kausale Pause zwischen Anmeldung und Untersuchung im Netzplan führte zu einer erheblichen Verzerrung des ermittelten Aufwandes für eine Untersuchung am Anfang und Ende der Simulation. Die Modellierung des zeitlichen Zusammenhangs würde für die Fragestellung dieser Arbeit keinen Vorteil ergeben. Daher wurden beide Tätigkeiten unabhängig parallel ablaufend abgebildet und über die Flussobjekttriggerung quantitativ gekoppelt.

Eine Abhängigkeit unter den Teilprozessen besteht auf Ressourcen- sowie auf Objektebene. Alle Teilprozesse greifen auf den selben Ressourcenpool zurück, somit wird ihr Fortgang über die Ressourcenverfügbarkeit gesteuert. Die Abhängigkeit auf Objektebe-

ne findet sich in der Objekttriggerung¹ wieder. In den Teilprozessen werden Flussobjekte erst dann losgeschickt, wenn der Hauptprozess einen bestimmten Status erreicht hat.

6.1.3 Datenerhebung

6.1.3.1 Vorgangsdauern

Alle gemessenen Aktivitätsdauern unterliegen einer statistischen Schwankung, die für eine größtmögliche Aussagekraft des Prozessmodells abgebildet werden sollte. Die Angabe von fixen Vorgangsdauern wie z.B. dem Mittelwert der gemessenen Dauern genügt hierfür nicht. Gelegentlich auftretende Verlängerungen einer Einzelaktivität können zu kumulativen Verzögerungen im Gesamtablauf führen, wenn beispielsweise wegen der Verzögerung eine Ressource nicht mehr verfügbar ist und jetzt auf diese gewartet werden muss (Multikolinearität, [45]). Im vorliegenden Prozess haben die Schwankungen der Vorgangsdauer Einfluss auf die Anwesenheitsdauer des Patienten, auf den Bruttoarbeitsaufwand pro Untersuchung und auf die Auslastung einzelner Ressourcen.

Vorgangsdauern werden einerseits von verschiedenen kausal nachvollziehbaren Faktoren beeinflusst, andererseits unterliegen sie statistischen Schwankungen, deren Einflussfaktoren sich der Kenntnis entziehen.

Zu den nachvollziehbaren Faktoren gehören interpersonelle Varianzen (verschiedene Personen können unterschiedliche Arbeitstempi haben oder unterschiedliche Techniken anwenden, um ein Ziel zu erreichen), intrapersonelle Varianzen (Tagesform) und äußere Faktoren (so dauert es z.B. länger, einem Patienten aus dem Rollstuhl auf die Untersuchungsliege zu helfen, als einem Patienten, der zu Fuß geht). Je nach Zielsetzung der Simulation wird gewählt, welche Einflussfaktoren kausal berücksichtigt werden und welche Einflussfaktoren stochastisch in das Modell eingehen und sich damit der Manipulation im Modell entziehen.

6.1.3.2 Abgrenzung von Vorgängen

Um einen Vorgang genau messen zu können, bedarf es eines definierten Start- und Endereignisses. Im modernen Hochleistungssport wird ein erheblicher Aufwand diesbezüglich betrieben, um Unterschiede in der Größenordnung von tausendstel Sekunden

¹ Triggerung bezeichnet die Auslösung eines Ereignisses. Hier bezieht sich die Triggerung auf die Erzeugung eines Flussobjekts, das den Teilprozess durchläuft.

zu erfassen. Die Zeitnehmer legen den exakten Weg des Sportlers fest und definieren, welches Körperteil welche Markierung erreicht haben muss, um ein Start- oder Stopereignis auszulösen. Die Sportler ihrerseits richten sich haargenau nach den Vorgaben, damit die Messung ihrer Leistung auch anerkannt wird.

Bei der Zeitmessung von Vorgängen des Arbeitslebens sind die Bedingungen nicht so optimal. Jeder Mitarbeiter hat seine eigene Reihenfolge, in der er eine Aufgabe löst, und manchmal variiert er diese auch noch, vielleicht um dem tristen Alltagseinerlei ein wenig Würze zu verleihen. Für einen Beobachter ist es deshalb nicht immer eindeutig zu erkennen, wann eine Aktivität beginnt und wann sie endet bzw. in eine andere übergeht. Für das korrekte Erkennen eines Endereignisses wurde das Vorgangsende über das angestrebte Ergebnis des Vorgangs definiert: Wenn ein bestimmtes Ziel erreicht ist, wird die Aktivität als beendet betrachtet.

6.1.3.3 Beobachtungsperspektive

Grundsätzlich können bei Zeitmessungen im Arbeitsprozess zwei unterschiedliche Sichtweisen angenommen werden.

- Prozessorientierte Sichtweise: Der Untersucher verfolgt komplette Prozessabläufe von Anfang bis Ende anhand eines Flussobjekts (hier Patient oder Akte) und misst die Dauer aller Vorgänge in der Reihenfolge ihres Auftretens. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass Abhängigkeiten zwischen den Vorgangsdauern und bestimmten Rahmenbedingungen direkt nachvollzogen werden können. So verlängert sich z.B. der Vorgang „Untersuchungsvorbereitung“, wenn vorher ein Patient mit Stuhlwagen im Untersuchungsraum war, da dieser erst von der Liege in den Stuhlwagen gesetzt und aus dem Raum geschoben werden muss.
- Vorgangsorientierte Sichtweise: Der Untersucher beobachtet Ressourcen (Personen) und misst die Dauern aller Vorgänge, die sie durchführen. Die Personen führen nicht nötigenfalls Vorgänge sequentiell innerhalb eines Prozessablaufs durch, sondern können zwischen mehreren parallel stattfindenden Prozessabläufen hin- und her springen. Vorteil dieser Methode ist die effizientere Messwerterfassung, da Zeiten der Inaktivität bei Ressourcen in weit geringerem Umfang auftreten als bei den Flussobjekten. Auch ließen sich in der hier untersuchten Umgebung aufgrund der räumlichen Gegebenheiten leichter mehrere Ressourcen parallel beobachten als mehrere Flussobjekte.

In dieser Arbeit wurde eine Kombination aus Elementen beider Sichtweisen gewählt, um ihre Vorteile miteinander zu verbinden. Die Messwerterfassung war vorgangsorientiert, um den Messvorgang effizient zu gestalten. Vor Beginn der Messungen wurden allerdings für jeden Vorgang Annahmen zu Rahmenbedingungen gemacht, die den Vorgang verlängern oder verkürzen können. Die Rahmenbedingungen wurden bei jeder Messung mitprotokolliert und in der Auswertung berücksichtigt.

6.1.3.4 Anzahl der Messungen

Die Angaben zur Anzahl von Messungen, die pro Vorgang erhoben werden sollten, schwanken zwischen 25 [61] und 200 [64]. Diese Zahl wurde bei einigen selten auftretenden Vorgängen nicht erreicht. Auch bei Vorgängen, deren Dauer sich je nach Rahmenbedingungen unterschied, wurde nicht für jede Rahmenbedingung die angegebene Zahl von Messungen erreicht. Schließlich war die Messung der Auftretenshäufigkeit seltener Vorgänge nicht immer in ausreichenden Mengen möglich.

In diesen Fällen gelten die erhobenen Daten als Schätzungen. Zwar muss in Simulationsprojekten recht häufig auf Schätzungen ausgewichen werden, einheitliche Standards zum Umgang mit der Situation existieren jedoch nicht [64]. Bei sehr geringen Messwertzahlen oder nicht zu ermittelnden Daten wurden Angaben von erfahrenen Prozessbeteiligten erhoben, die durchaus zutreffende Schätzungen zum kleinsten, größten und häufigsten Wert machen [47]. Aus diesen wurde dann eine Dreiecksverteilung generiert. Daten auf Basis geringer Messwertzahlen wurden verifiziert durch Angaben der Prozessbeteiligten, ob die Daten ihrer Erfahrung nach realistisch sind.

6.1.3.5 Software für Zeiterfassung

Die für die Zeiterfassung erstellte Software ermöglicht die Messung der Dauern parallel ablaufender Arbeitsschritte, die von unterschiedlichen Personen gleichzeitig durchgeführt werden.

Die Software kombiniert die Vorteile beider Beobachtungsperspektiven. Für jede Messung wird erfasst, wer die Aktivität ausführt. Zusätzlich werden weitere Informationen für jede Messung gespeichert, welche die Rahmenbedingungen der Messung definieren.

Vorgangsdauern werden über das Start- und Endereignis eines Vorgangs erfasst. Ungenauigkeiten können dann auftreten, wenn mehrere Start- und Endereignisse zusammen fallen. Das Maß der Ungenauigkeit ist wesentlich von der Benutzerschnittstelle der Messapplikation abhängig. Bei der papierbasierten Methode wird dem Beobachter über die Protokollierung ein hohes Maß an Aufmerksamkeit abgefordert, das dann für die

Messung nicht mehr zur Verfügung steht. Die Software übernimmt so weit wie möglich den Protokollierungsvorgang. Die zusätzlich verfügbare Aufmerksamkeit des Beobachters steht so der gleichzeitigen Beobachtung mehrere Personen zur Verfügung. In Praxis hat sich gezeigt, dass die Ungenauigkeiten im Bereich weniger Sekunden liegen (geschätzt maximal ± 5 Sekunden pro Start- oder Endereignis). Bei den in dieser Arbeit auftretenden Vorgangsdauern von 3-20 min wurde diese Ungenauigkeit als vernachlässigbar beurteilt.

Die Anzahl der protokollierten Messungen pro Zeiteinheit konnte mit der Software verdreifacht werden (konventionelle Erfassung mit Stoppuhr und Papier: 7,16 Messungen pro Stunde; Erfassung mit Softwaretool: 23,81 Messungen pro Stunde).

6.1.3.6 Messgenauigkeit

Die absolute Messgenauigkeit wird hauptsächlich von folgenden drei Punkten beeinträchtigt [19]:

- Reaktionszeit des Beobachters
- Ablesefehler des Beobachters.
- Schaltverzögerung des Zeitmessgerätes.

Die relative Messgenauigkeit ist abhängig von:

- der Dauer des Messabschnitts
- der Reaktionszeit des Beobachters

Ablesefehler werden durch die automatische Protokollierung ausgeschlossen. Auch Schaltzeitverzögerungen sind mit dieser Anwendung bei modernen Computern vernachlässigbar. Die Reaktionszeit des Beobachters wird die übersichtliche Benutzeroberfläche gering gehalten.

6.1.4 Validierung und Verifizierung

Ein Simulationsmodell wird für eine bestimmte Anwendung (Fragestellung) entwickelt. Für diese Anwendung (Fragestellung) wird die Validität ermittelt. Liegen mehrere Fragestellungen vor, muss die Validität für jede Fragestellung ermittelt werden [53]. Eine absolute Validität in dem Sinne, dass ein Modell absolut zutreffend über die gesamte Breite seines anvisierten Anwendungsgebiets ist, wird sich nicht mit vertretbarem Aufwand feststellen lassen (Abbildung 6-2). Stattdessen werden so lange Tests durchgeführt, bis ein ausreichendes Vertrauen besteht, dass die Simulationsergebnisse valide sind [53, 57].

Es gibt eine Vielzahl an Validierungs- und Verifizierungsverfahren auf unterschiedlichen Ebenen – sei es die Wahrnehmung der Prozessbeteiligten bzw. des Untersuchers oder der statistische Vergleich von Daten. Eine Richtlinie zur Anwendung der Verfahren je nach Situation existiert nicht [53].

Wo sinnvoll, wurden in der vorliegenden Arbeit statistische Tests eingesetzt. Validiert wurde im Hinblick auf die zwei Hauptkenngrößen, den Arbeitsaufwand und die Patientendurchlaufzeiten. Der Nettoarbeitsaufwand ist in erster Linie von den Vorgangsdauern und der Anzahl durchlaufener Vorgänge pro Untersuchung abhängig. Die Patientendurchlaufzeiten und der Bruttoarbeitsaufwand sind zusätzlich determiniert durch das Laufzeitverhalten der Flussobjekte, welches wiederum von der Prozessstruktur, der Wechselwirkung mit den Ressourcen und den Wechselwirkungen der Teilprozesse untereinander abhängt.

Im Hinblick auf den Arbeitsaufwand wurden die Verteilungsfunktionen der einzelnen Vorgangsdauern getestet. Für die Patientendurchlaufzeiten wurden Evaluationsintervalle verglichen (siehe Methodikteil).

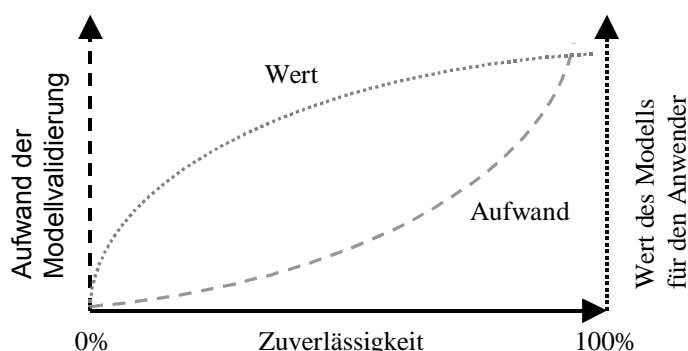


Abbildung 6-2: Schematischer Zusammenhang zwischen Aufwand der Modellvalidierung und Wert des Modells für den Anwender (nach [53]).

In einigen Punkten wurden signifikante Abweichungen der simulierten von den gemessenen bzw. erwarteten Werten festgestellt.

Bei den Vorgangsdauern betraf dies die Vorgänge 2a, 2c, 4a, 4c und 5a. Für Vorgang 4b sowie für den Vorgang 1h beim Anfänger und 1j bei der Abdomenuntersuchung des Anfängers lagen zu wenige Messwerte vor, sodass hier keine Tests durchgeführt wurden. Mit Ausnahme der Vorgänge 4a und 5a lagen der Mittelwert und die Standardabweichung nah genug beieinander, um eine ausreichende Genauigkeit der simulierten Werte anzunehmen. Vorgang 5a, für den eine Abweichung des simulierten Mittelwertes von 23,8 % gegenüber dem gemessenen Wert ermittelt wurde, ging mit einer relativen Häufigkeit von 0,06 nur zu geringem Anteil in den Arbeitsaufwand ein. Bei Vorgang 4a

ergab sich bei einer Analyse der Messwerte, dass ihr Mittelwert durch zwei Ausreißer verschoben worden war, die aufgrund ihrer Dauer von 10:06 min und 11:16 min bei einem Median von 0:25 min und aufgrund der Art der Tätigkeit als Messfehler gewertet wurden.

Bei den Evaluationsintervallen wurden signifikante Abweichungen für die Intervalle 8:00-8:59 Uhr (Simulation ist im Durchschnitt 20 % kürzer als die gemessenen Werte, $p < 0,001$), 13:00-13:59 Uhr (Simulation ist 7,4 % kürzer, $p = 0,017$) und 15:00-15:59 Uhr (Simulation ist 62 % länger, $p < 0,001$) ermittelt. Die Analyse der Abweichungen ergab für den Morgen eine verspätete Anfangszeit der Ärzte. Während in der Simulation die planmäßige Anfangszeit für alle Ärzte zugrunde gelegt worden war (8:20 Uhr), kamen einige Ärzte in Realität häufig erst später zum Arbeitsplatz, sodass sich der Beginn der Untersuchungen häufig verzögerte.

Die Erklärung der Abweichung im Intervall 15:00-15:59 Uhr ergab sich bei genauer Betrachtung des Verhaltens der Ärzte am Ende des Arbeitstages. Sie war auf eine beschleunigte Arbeitsgeschwindigkeit im realen System zurück zu führen. Um das Untersuchungsprogramm in vertretbarer Zeit zu vervollständigen, beschleunigten die Ärzte die Untersuchung und Befunderstellung, indem sie sich auf wesentliche Regionen im Untersuchungsgebiet und auf die konkrete Beantwortung der Fragestellung konzentrierten. Da die meisten Messwerte aus den Intervallen 9:00-14:00 Uhr stammten, war die Verzerrung nicht aufgefallen. Solche Crash-Szenarien, in denen die Mitarbeiter ihr Verhalten ändern, um einem äußeren Druck Stand zu halten oder ihn auszugleichen, sind allenfalls mit großem Aufwand zu simulieren oder verhindern ein Simulationsprojekt von vornherein [14].

Für Abweichung der Intervallauern im Intervall 13:00-13:59 Uhr wurde auch nach umfassender Analyse keine Kausalität entdeckt. Aufgrund ihrer geringen Größe wurde sie als vernachlässigbar betrachtet.

Die simulierten Intervallauern in ihrer Gesamtheit korrelierten gut mit den gemessenen Werten. Aufgrund des Gesamtbildes mit zwar punktuellen Abweichungen, aber einer übergreifend guten Übereinstimmung der Vergleichswerte wurde das Modell als valide für sein Anwendungsgebiet angenommen.

6.2 Ergebnisse der Prozesssimulation

6.2.1 Aussagekraft der Simulation

Unter der Annahme, dass die Simulation die Verhältnisse des Realsystems zutreffend wiedergibt, können die einzelnen Szenarien als zutreffende Hinweise gewertet werden, wie sich das Systemverhalten bei Veränderungen der Rahmenbedingungen ändert. Die Aussagekraft steht und fällt mit der Qualität der ursprünglichen Messdaten, welche einige Diskussionspunkte aufweist.

Die Anzahl der Messungen ist für die meisten Vorgänge ausreichend hoch, um unter den gegebenen Umständen ein statistisch zutreffendes Modell der Vorgangsdauer zu erstellen. Die meisten Messungen wurden bei zwei, maximal drei verschiedenen Personen vorgenommen, teilweise lagen Messungen nur von einer Person vor. Auch bei der Messung der Vorgänge „Untersuchung“ und „Befund verfassen und drucken“ ist ein ausgeprägter personenspezifischer Bias zu erwarten. Die Annahme, dass die beobachteten unterschiedlichen Vorgangsdauern in erster Linie oder nur auf den Ausbildungsstand zurück zu führen sind, kann unter den gegebenen Rahmenbedingungen nicht bestätigt oder widerlegt werden.

Das Prozessmodell beschreibt einen spezifischen Arbeitsplatz. Einige Ergebnisse aus dieser Studie sind nur eingeschränkt auf andere Arbeitsplätze übertragbar. Dies betrifft insbesondere Wartezeiten des Patienten vor der Untersuchung und damit auch Gesamtaufenthaltsdauern, die in erheblichem Maße von der Steuerung der Patientenankunft abhängen. Rückschlüsse auf Ultraschalluntersuchungen im Allgemeinen dürfen nur unter Berücksichtigung der Besonderheiten des Arbeitsplatzes gezogen werden. Die Besonderheiten betreffen Räumlichkeiten, Personal und Ausstattung sowie Patientenaufkommen und Arbeitsabläufe.

Räumlichkeiten: Die Untersuchungsräume und der Administrationsraum lagen dicht beieinander, was kurze Wege ermöglichte. In anderen Kliniken (z.B. in der Robert-Rössle-Klinik, Charité Campus Buch) sind die Gegebenheiten diesbezüglich nicht so günstig, was immer wieder lange Gehstrecken zwischen den einzelnen Tätigkeiten erfordert.

Im Administrationsraum bewältigten alle Beteiligten des Arbeitsplatzes ihre administrativen Tätigkeiten. Zeitweise hielten sich dort bis zu 7 Personen auf ca. 20 m² Fläche auf. Zwischenfragen und Gespräche, welche die Einzelaktivitäten verlängerten, wurden häu-

fig beobachtet. Ärzte wie MTRA äußerten sich wiederholt zur konzentrationshinderlichen Unruhe im Raum, die verzögernd auf Tätigkeiten mit hohem Konzentrationsbedarf wirke.

Personal: Alle MTRA (vier verschiedene Personen wurden beobachtet) hatten langjährige Berufserfahrung, zwei von ihnen waren auch am Arbeitsplatz erfahren. Die Einzelaktivitäten wie der Umgang mit dem Abrechnungssystem oder die Vorbereitung von Untersuchungen beherrschten alle MTRA. Unterschiede gab es bei den Kenntnissen der Abfolge von Tätigkeiten, um den flüssigen Ablauf zu gewährleisten.

Die Unterschiede im Erfahrungsstand zwischen den Ärzten zeigten sich vor allem bei der Beurteilung der Ultraschallbilder und bei der Befunderstellung. Der Umgang mit den Maschinen (Ultraschallgerät und Befundungscomputer) wurde schnell erlernt und hatte subjektiv keinen nennenswerten Einfluss auf die Vorgangsdauern. Dagegen schienen die Anfänger länger zu brauchen, um während der Untersuchung aussagekräftige Schnittebenen einzustellen und die Relevanz der beobachteten Befunde einzuschätzen. Die kürzesten Untersuchungszeiten wurden bei den beiden erfahrenen Untersuchern beobachtet, sie waren lagen im Durchschnitt unter denen der Experten. Dies schien auf den Umstand zurück zu führen sein, dass die beiden Experten dank ihres größeren Kenntnisstands in der Methode mehr Befunde erhoben und diese für eine fundierte Beurteilung genauer betrachteten.

Ausstattung: Die unterschiedlichen Bedienungskonzepte der verschiedenen Ultraschallgeräte führten besonders bei den Anfängern (nach eigenem Bekunden) zu unterschiedlichen Verzögerungen bei der Ultraschalluntersuchung. Während zwei der Geräte relativ intuitiv zu bedienen waren, tat sich eines mit einer ausgeprägt umständlichen Bedienung hervor. Die fortgeschrittenen und erfahrenen Untersucher sowie die Experten bedienten jedoch auch jenes Gerät sehr flüssig, sodass ein wesentlicher Einfluss auf die Untersuchungsdauer nicht angenommen wurde.

Einen größeren Einfluss hatte die computergestützte Befunderstellung. Der Vorteil dieses Verfahrens lag in der zügigen Erstellung formschöner und, durch die Verwendung von Textbausteinen, vollständiger Befunde. Die Befundungscomputer waren jedoch nicht mit dem Abrechnungssystem verbunden, sodass die Stamm- und Untersuchungsdaten des Patienten jeweils wieder neu eingegeben werden mussten. Insgesamt wurde das System von den erfahrenen Untersuchern und Experten als schwerfällig erlebt. Unter Zeitdruck wichen sie immer wieder auf den handschriftlichen Befund aus, der dann allerdings nur die Beurteilung der Untersuchung enthielt.

Patientenaufkommen: Von allen Beteiligten des Untersuchungsvorgangs und von den Patienten selbst wurde wiederholt auf die als extrem langen empfundenen Wartezeiten der Patienten hingewiesen. Bei genauerer Betrachtung zeigte sich eine regelmäßige Überbelegung des Terminkalenders. Trotzdem bekannt war, dass jeden Tag ca. 15 Patienten kurzfristig zum elektiven Programm hinzu kommen, wurde kein ausreichendes Terminkontingent frei gehalten. Pünktlich zu ihrem Termin erscheinende Patienten mussten sich so häufig in eine lange Reihe von Notfällen oder Patienten einreihen, die vom Vortag wegen Überbelegung auf den jetzigen Termin verlegt worden waren. Eine rigidere Handhabung der Terminvergabe wäre zwar nach Ansicht der Prozessbeteiligten technisch möglich und klinisch vertretbar. Die Ursachen für den beschriebenen Zustand waren jedoch vor allem auf abteilungspolitischer Ebenen zu suchen; so wurde beispielsweise vor der Klinikumsverwaltung mit der stets sichtbaren Überlastung argumentiert, um Stellenstreichungen zu verhindern oder neue Stellen zu schaffen.

Die Konsequenz für das Prozessmodell war, dass zu den meisten Zeitpunkten mehr Patienten anwesend waren, als aus organisatorischer Sicht nötig wäre. Die dadurch erheblich verlängerten Warte- und Anwesenheitszeiten lassen sich nicht auf Strukturen übertragen, in denen andere Motivationen zur Prozessgestaltung zum Tragen kommen, die eine effizientere Terminvergabe erlauben.

Arbeitsabläufe: Der Tätigkeitsumfang der Ärzte orientierte sich an den Erfordernissen der Untersuchung. Er bewegte sich mit wenigen Ausnahmen im Rahmen dessen, was zur qualifizierten Durchführung von Untersuchungen unbedingt notwendig erscheint. Die Ausnahmen betrafen telefonische Rückfragen wegen fehlender Unterlagen.

Anders gestaltete sich das Bild bei den MTRA. Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Archivierung von Befunden und Filmen wie z.B. die Zusammenführung von Akten des gleichen Patienten oder das Bekleben von Archivtüten mit Archivmarkern entsprechen nicht dem eigentlichen Aufgabenbereich einer/eines MTRA. Sie sind nicht zur Durchführung einer Untersuchung vor Ort nötig. Auch schienen solche Tätigkeiten im subjektiven Vergleich zu anderen Institutionen überproportional häufig aufzutreten, so zeichnet der Vorgang 3b („Akten sonstige Tätigkeiten“ im Zusammenhang mit unvollständigen oder fehlerhaften Akten) für 19,4 % des Aufwands der gesamten Aktenverwaltung verantwortlich.

Zu berücksichtigen ist weiterhin, wie einzelne Arbeitsschritte durchgeführt werden. Bei der Befunderstellung kann zwischen Institutionen mit ausgeprägten Unterschieden im Ablauf und damit der Vorgangsdauer gerechnet werden. So wurden vereinzelt Befunde

nicht am Computer, sondern handschriftlich durchgeführt. Dies geschah insbesondere unter Zeitdruck, wenn gerade kein Computer zum Befunden verfügbar war. Die Dauer der Befunderstellung war dann kürzer, allerdings war der Befund in der Regel nicht so ausführlich beschreibend und formschön wie die per Computer mit Textbausteinen erstellten.

Die Tabelle 6-1 listet Faktoren im Überblick auf, die bei der Beurteilung der Ergebnisse zu berücksichtigen sind.

Tabelle 6-1: Arbeitsplatzspezifische Faktoren, welche bei der Beurteilung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen

Kenngroße	...ist abhängig von
Patientenanwesenheitszeit	
Wartezeit vor Untersuchung	Terminplanung Anzahl der Patienten
Untersuchungsdauer	Individuell unterschiedliche Arbeitsgeschwindigkeit der Ärzte
Arbeitsaufwand	
Untersuchung	Individuell unterschiedliche Arbeitsgeschwindigkeit des Personals Art der Befunderstellung
Administration	Organisation der Aktenverwaltung Filmarchivierung Terminverwaltung

6.2.2 Kostenberechnungen

Die den Berechnungen zugrunde gelegten Stundenlöhnen nach BAT sind Bruttoarbeitslöhne ohne Arbeitgeberzulagen. Die tatsächlichen Kosten für den Leistungsträger sind erheblich höher, da zum Grundlohn Überstundenzuschläge und Sonderleistungen wie Weihnachtsgeld, bezahlter Urlaub und Urlaubsgeld, vermögenswirksame Leistungen, freiwillige Versicherungsleistungen etc. hinzu kommen. Das Berliner Haushaltsbrutto für MTRA bei BAT Vc wird beispielsweise mit 39790 € veranschlagt. Rechnet man dies auf eine Arbeitszeit von 38,5 Stunden pro Woche bei 220 Arbeitstagen im Jahr um, ergeben sich Kosten pro Stunde in Höhe von 23,48 € gegenüber dem Bruttostundenlohn von 12,53 € (+87,4 %). De facto wird sich das Haushaltsbrutto vermutlich auf eine höhere Stundenzahl verteilen, da dort Überstunden bereits eingeschlossen sind.

Die auf Stunden umgerechneten Haushaltskosten für Ärzte sind nicht so leicht zu ermitteln, da deren Maß an Überstunden nicht genau bekannt ist. Legt man die in vielen Institutionen regelmäßig erreichte gesetzliche Höchstwochenarbeitszeit von 48 Stunden inklusive Diensten zugrunde, ergeben sich für einen Assistenzarzt bei einem Haus-

haltsbrutto von 61160 € Kosten pro Stunde in Höhe von 28,96 € gegenüber 19,41 € Bruttostundenlohn (+49,2 %). Bei einem Oberarzt mit gleicher Stundenzahl und 70400 € Haushaltsbrutto stehen Kosten pro Stunde in Höhe von 33,33 € einem Bruttostundenlohn von 23,04 € gegenüber (+44,7 %).

6.2.3 Ultraschalluntersuchung des Abdomens

Der Arbeitsaufwand für eine Standard-Ultraschalluntersuchung des Abdomens wurde unter Facharzt- und Ausbildungsbedingungen ermittelt. Erwartungsgemäß ändert sich der Nettoaufwand gegenüber dem Szenarium mit allen Untersuchungen nur für die Ärzte. Die MTRA leisten das gleiche Pensum für jeden Patienten unabhängig von der Untersuchungsart.

Der Arbeitsaufwand für Ärzte unterschied sich nur geringfügig von dem für alle Untersuchungen. Dies überrascht insofern, als bei den Durchläufen mit allen Untersuchungen auch mehrere Untersuchungen pro Patient möglich waren, während die Simulation mit Abdomenuntersuchungen nur eine Untersuchung pro Patient erlaubte. Die Analyse der Messwerte ergab, dass Abdomenuntersuchungen überproportional häufig gemessen wurden verglichen mit der durchschnittlichen Häufigkeit, die im Abrechnungssystem ermittelt wurde.

Werden die Berechnungen auf Basis des Berliner Haushaltsbruttos mit konventioneller Infrastruktur durchgeführt, belaufen sich die Personalkosten pro Untersuchung

- im Ausbildungsszenarium auf 22,08 € netto / 31,86 € brutto (Unterschied: +44,3 %),
- im Facharztszenarium auf 25,42 € netto / 32,87 € brutto (+29,3 %).

In den Szenarien mit digitaler Infrastruktur liegen die Kosten

- im Ausbildungsszenarium bei 15,14 € netto / 31,76 € brutto (+109,8 %),
- im Facharztszenarium bei 17,78 € netto / 31,87 € brutto (+79,2 %).

Die Unterschiede zwischen den Netto- und Bruttobeträgen lassen in den simulierten Szenarien auf ein großes Potential für Effizienzsteigerung schließen (siehe auch 6.2.5).

Eine Ultraschalluntersuchung des Abdomens kann derzeit laut Einheitlichem Bewertungsmaßstab (EBM) mit 520 Punkten abgerechnet werden. Dies ist die höchste für eine einzelne Ultraschalluntersuchung zu erzielende Punktzahl (Ziffer 378, [37]). Für einen niedergelassenen Radiologen ergeben sich daraus Vergütungen zwischen 13,09 € (Primärkassen) und 17,03 € (Sekundärkassen; Stand 4. Quartal 2001). Niedergelassene Internisten erhalten zwischen 20,44 € und 25,84 €. Mit diesem Betrag müssen der Arbeitsaufwand von Ärzten und Arzthelfern (Untersuchung, Befunderstellung,

Bildarchivierung, Akten- und Terminverwaltung), Abschreibungs- und Unterhaltskosten für das Ultraschallgerät, Einwegmaterialien wie das Ultraschallgel, Druckerpapier und Büromaterial, Elektrizität, Raummiete und evtl. weitere versteckte Kosten beglichen werden.

Damit erreicht die Kassenvergütung im günstigsten Fall (für Internisten) das Niveau der Nettopersonalkosten im konventionellen Facharztszenarium. Alle weiteren Kosten sind nicht gedeckt und werden vom niedergelassenen Arzt getragen. Im Rahmen einer Ultraschalluntersuchung erreicht er nicht das Vergütungsniveau eines klinisch tätigen Oberarztes.

Die Durchführung einer Ultraschalluntersuchung am vom niedergelassenen Arzt überwiesenen Patienten lohnt sich für einen niedergelassenen Radiologen oder eine klinische radiologische Abteilung unter ökonomischen Gesichtspunkten nicht. Erst mit Einsatz einer digitalen Infrastruktur bewegen sich die Nettopersonalkosten in einen Bereich, der von der Vergütung der Krankenkasse gedeckt wird, wobei auch hier die Nebenkosten noch ungedeckt bleiben.

6.2.4 Ausbildungs- vs. Facharztszenarium

Das Facharztszenarium stützt sich auf Messdaten von zwei verschiedenen Untersuchern, deren Vorgangsdauern für die Ultraschalluntersuchung und die Befunderstellung in die Simulation eingingen.

Bedingt durch die erfahrungsbedingt zügigere Bearbeitung der Untersuchungen und die fehlenden Ausbildungstätigkeiten ergeben sich im Facharztszenarium für den Patienten kürzere Anwesenheitszeiten, zu denen eine Verkürzung aller drei Phasen (Warte- und Untersuchungszeiten) beiträgt. Was sich nicht (digitale Infrastruktur) bzw. nur gering (konventionelle Infrastruktur) ändert, ist die Gerätetaktzeit. Stattdessen sinkt die Geräteauslastung, bedingt durch die schnellere Untersuchung und Befunderstellung der Experten. Um das Potential der freien Gerätere Ressourcen besser nutzen zu können, sind bei der konventionellen Infrastruktur zusätzliche MTRA nötig, die im Ausbildungsszenarium (mit zwei MTRA) mit 88,2 % Auslastung bereits am Limit ihrer Möglichkeiten arbeiten. Bei digitaler Infrastruktur enthält die Ressourcenauslastung bei gleichbleibender Allokation sowohl für die Ärzte (61,9 %) wie auch für die MTRA (29,9 %) genug Spielraum, um kürzere Gerätetaktzeiten zu ermöglichen. Es stellte sich heraus, dass der limitierende Faktor in diesem Fall die Patientenzahlen waren. Die Patientenankunft

müsste neu organisiert werden, damit genügend Patienten zur Untersuchung zur Verfügung stehen.

Der Arbeitsaufwand unterscheidet sich nur hinsichtlich des Aufwands für Vorgänge der Untersuchungsgruppe (+27 % für das Ausbildungsszenarium gegenüber dem Facharztszenarium). Der Administrationsaufwand bleibt erwartungsgemäß gleich. Insgesamt steigt der Aufwand im Ausbildungsszenarium bei konventioneller Infrastruktur um 14,8 %.

Die Bruttokosten einer Ultraschalluntersuchung des Abdomens sind unter den gegebenen Rahmenbedingungen annähernd gleich. Anders die Nettokosten: Hier ist das Ausbildungsszenarium günstiger als das Facharztszenarium (-11,6 % bei konventioneller Infrastruktur). Die Ursache hierfür findet sich in der Gegenüberstellung von Aufwand und Kosten für die Ärzte nach Status. Weniger erfahrene Untersucher benötigen zwar z.T. erheblich länger für eine Untersuchung und die Befunderstellung, verursachen allerdings aufgrund ihres Status erheblich weniger Kosten. Zusammengenommen sinken so die Personalkosten pro Untersuchung gegenüber dem Facharztszenarium. Ob dieser Umstand gleichbedeutend mit geringeren Gesamtkosten pro Untersuchung ist, lässt sich mit den vorliegenden Daten nicht sagen. Die längeren Taktzeiten im Ausbildungsszenarium bedingen geringere Patientenzahlen pro Zeiteinheit. Abschreibungs-, Wartungs- und andere Fixkosten steigen pro Untersuchung, da sie auf längere Zeiträume umgelegt werden müssen.

Alle diese Betrachtungen berücksichtigen nicht die medizinische Ergebnisqualität der Untersuchung. Trotzdem durch Nachuntersuchung und Befundkontrolle durch den Experten eine hohe Befundqualität erreicht werden soll, ist sie laut Aussagen der Mitarbeiter stark vom persönlichen Engagement und der Gesamtbelastung des Experten abhängig. So war es am beobachteten Arbeitsplatz für den Experten häufig zeitlich nicht möglich, alle Untersuchungen der Auszubildenden in ausreichender Gründlichkeit nachzuuntersuchen.

6.2.5 Digitale Infrastruktur

Mitarbeiter und Entscheidungsträger in radiologischen Abteilungen assoziieren zum Begriff der elektronischen Infrastruktur in erster Linie das PACS. In der Annahme, dass durch die Umstellung vom filmbasierten Arbeiten und Archivieren auf PACS Kosten allein durch Materialeinsparungen gespart werden, haben sich viele Kliniken ein PACS angeschafft. Häufig wird dann fest gestellt, dass die Gesamtkosten steigen. Ursache

hierfür sind in erster Linie die zusätzlichen Mensch-Maschine-Schnittstellen, die auftreten, wenn das PACS die bestehenden Arbeitsabläufe lediglich ergänzen soll.

Erst wenn neben der elektronischen Speicherung und Verarbeitung auch die Möglichkeiten der Automatisierung von Abläufen konsequent genutzt werden, entfaltet eine elektronische Infrastruktur ihr Einsparungspotential. So konnte mit einer über 10 Jahre eingeführten abteilungsübergreifenden digitalen Infrastruktur im Baltimore Veterans Affairs Medical Center der Prozess des Thorax-Röntgens erheblich vereinfacht werden. Die Anzahl der Arbeitsschritte wurde von 52 auf 11 reduziert [58]. Ein ähnlicher Trend ist im Prozessmodell zu erkennen: Die Anzahl der Arbeitsschritte wurde für das Szenarium einer digitalen Infrastruktur von 29 auf 14 reduziert.

Eine Reduktion des Arbeitsaufwands ist hieraus zwar abzuleiten, jedoch wurden bisher mangels früherer Messungen keine Angaben zum quantitativen Ausmaß der Verminderung und damit zur Höhe der einzusparenden Kosten gemacht. Die Simulation erlaubt dagegen eine quantitative Abschätzung der zu erwartenden Einsparungen. Im Facharztszenarium reduzierte sich der simulierte Nettoarbeitsaufwand pro Untersuchung gegenüber dem konventionellen Facharztszenarium um 43,4 % von 0:53 h auf 0:30 h. Umgerechnet auf die Bruttopersonalkosten ergibt sich eine Reduktion um 37,8 % von 19,73 € auf 12,28 €. Diese Reduktion wird über die Einsparung von Personal erzielt, da die Untersuchungen jetzt von zwei Fachärzten und einem MTRA durchgeführt werden. Die Durchlaufzeit der Patienten steigt dabei gegenüber dem konventionellen Szenarium um 15,1 % von 0:52 h auf 1:00 h an. Gegenüber der für ihn schnelleren Lösung mit drei Fachärzten und zwei MTRA bei digitaler Infrastruktur (0:45 h) besteht sogar ein Anstieg um 32,1 %. Hier werden allerdings keine Kosten gespart, während die Ressourcenauslastung sinkt. Eventuell besteht auch die Möglichkeit, die Anwesenheitsdauer durch andere Optimierungsmaßnahmen zu reduzieren (siehe 6.2.1, Patientenaufkommen).

Die Anwesenheitszeit der Patienten nimmt bei einem MTRA gegenüber zweien leicht ab. Erwarten würde man den umgekehrten Trend, da zwei MTRA mehr Arbeit in der gleichen Zeit erledigen können als einer. Der Effekt ist darauf zurück zu führen, dass der Vorgang 1a (Patient abrufen) im Prozessmodell eine niedrige Priorität hat. Liegen für den MTRA andere Aufgaben mit höherer Priorität an, wird er diese bevorzugt erledigen und erst anschließend einen neuen Patienten abrufen. Werden zwei MTRA simuliert, kann der zweite MTRA bereits die Tätigkeit mit niedriger Priorität ausführen, während der erste mit dem „Wichtigen“ beschäftigt ist. So kommt der Patient früher an und

hat eine längere Wartezeit vor der Untersuchung und eine längere Gesamtaufenthaltszeit.

Die Aufwandsreduktion betrifft ausschließlich den administrativen Anteil der Untersuchung. Der Arbeitsaufwand am Patienten bleibt in diesem Szenarium unberührt, da die einzelnen Vorgangsdauern gleich blieben. Dies kann sich ändern, wenn z.B. im Vorgang 1j (Befund erstellen und drucken) statt der Befundeingabe per Tastatur ein Spracherkennungssystem zum Einsatz kommt. Generell sind Verkürzungen überall dort zu erwarten, wo Mensch-Computer-Schnittstellen effizienter gestaltet werden. Bisher werden z.B. die Stammdaten des Patienten immer wieder neu am Ultraschallgerät und am Befundungscomputer eingetippt. Hier ist ein Effizienzgewinn zu erwarten, wenn die Computer untereinander vernetzt sind und auf den gleichen Datenpool wie z.B. Stammdaten zurückgreifen können.

Alle Personaleinsparungen vor Ort müssen in Relation gesehen werden zu zusätzlichen Personal- und sonstige Kosten, die Einrichtung und Betrieb einer digitalen Infrastruktur mit sich bringen. Legt man die ermittelten Werte zugrunde, kann an dem einen Arbeitsplatz mindestens ein MTRA weniger beschäftigt werden, während der Patientendurchsatz sich erhöht. Das bedeutet eine jährliche Einsparung von 39790 € (Haushaltsbrutto) bei steigenden Einnahmen. Eine digitale Infrastruktur bedient alle Arbeitsplätze einer Abteilung und macht viele zusätzliche Aufgaben wie bestimmte Botengänge oder integritätserhaltende Aktenarbeit überflüssig. Bei entsprechender Anpassung des Workflows birgt sie ein immenses Potential zur Effizienzsteigerung und Kosteneinsparung.

7 Literaturverzeichnis

- 1 DIN 69900-1: Projektwirtschaft; Netzplantechnik; Begriffe. Berlin, Beuth Verlag, 1987
- 2 Access 2000 (1999). Microsoft GmbH,
<http://www.eu.microsoft.com/germany/ms/office2000/access/>.
- 3 Excel 2000 (1999). Microsoft GmbH, 2001
<http://www.eu.microsoft.com/germany/ms/office2000/excel/>.
- 4 ChariTime - System für das Termin- und Informationsmanagement im Krankenhaus. Humboldt-Universität zu Berlin, NTeam GmbH, 2001 <http://www.charitime.de>.
- 5 Continuous Quality Improvement. 07/2002
<http://www.ua.edu/advancement/cqi/cqitext.html>.
- 6 Internetpräsenz der Kassenärztlichen Vereinigung Berlin. Berlin, Kassenärztliche Vereinigung Berlin, <http://www.kvberlin.de>.
- 7 Process v3.0.9. Scitor Corporation, 2002 <http://www.scitor.com>.
- 8 Stat::Fit 2.0042. Geer Mountain Software Corp., 2002 <http://www.geerms.com>.
- 9 XLSTAT 5.1. Addinsoft, 2002 <http://www.xlstat.com>.
- 10 Aas I. H.: A qualitative study of the organizational consequences of telemedicine. J. Telemed. Telecare. Band 7. 2001, S.18-26
- 11 Aas I. H.: Telemedical work and cooperation. J. Telemed. Telecare. Band 7. 2001, S.212-218
- 12 Aas, I. H.: Changes in the job situation due to telemedicine. J. Telemed. Telecare. Band 8. 2002, S.41-47
- 13 Baer, L., Elford, D. R. et al.: Telepsychiatry at forty: what have we learned?. Harv. Rev. Psychiatry. Band 5. 1997, S.7-17
- 14 Banks, J.: Managing the Simulation Project. In: Banks, J.: Handbook of Simulation. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1998 S.745-764
- 15 Banks, J.: Principles of Simulation. In: Banks, J.: Handbook of Simulation. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1998 S.3-30
- 16 Banks, J., Carson, J. et al.: Discrete and Continuous Systems. In: Banks, J., Carson, J. et al.: Discrete Event System Simulation. New Jersey, Prentice Hall, 2001 S.12
- 17 Banks, J. und Gibson, R. R.: Simulating in the real world. Automation Associates Inc., 2001 <http://www.aaisim.com/Simulation/PubApr01.htm>.

- 18 Becker, S. H. und Arenson, R. L.: Costs and benefits of picture archiving and communication systems. J. Am. Med. Inform. Assoc. Band 1. 1994, S.361-371
- 19 Brocksieper, H.: Durchführen und Auswerten von Zeitaufnahmen. REFA Bundesverband e.V., Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung, 06/2000 <http://www.refa-vlwz.de/>.
- 20 Chua, R., Craig, J. et al.: Cost implications of outpatient teleneurology. J. Telemed. Telecare. Band 7. 2001, *Suppl 1*, S.62-64
- 21 Chua, R., Craig, J. et al.: Randomised controlled trial of telemedicine for new neurological outpatient referrals. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry. 2001, 71, S.63-66
- 22 Cono, M. und Dawson, K. A.: Determining the Size of the Gastroenterology Division Expansion Using Simulation: A Case Study. Dearborn, Michigan, Production Modeling Corporation, 2002
[http://www.pmc corp.com/PublishedPapers/Simulation %20Publications/Sim-Health %20Care/DeterminingTheSizeOfTheGastroenterologyDivision.pdf](http://www.pmc corp.com/PublishedPapers/Simulation%20Publications/Sim-Health%20Care/DeterminingTheSizeOfTheGastroenterologyDivision.pdf).
- 23 D'Alesandro, J. B.: Process Simulation as a Total Quality Management Tool. Dearborn, Michigan, Production Modeling Corporation, 2002
[http://www.pmc corp.com/PublishedPapers/Simulation %20Publications/Sim-Methodology/ProcessSimulationAsATotalQualityManagement.pdf](http://www.pmc corp.com/PublishedPapers/Simulation%20Publications/Sim-Methodology/ProcessSimulationAsATotalQualityManagement.pdf).
- 24 D'Aquila, N. W.: Facilitating inservice programs through PERT/CPM. Project Evaluation and Review Technique/Critical Path Method. Nurs Manage. 1993, 24, S.92-4
- 25 Dale, B. G., Lascelles, D. M. et al.: The Process of total Quality Management. In: Plunkett, J. J. and Dales, D. G.: Managing Quality. Oxford, Philip Allan, 1990 S.3-18
- 26 Dawson, K. A., Ulgen, O. M. et al.: How to Conduct a Successful Emergency Center Staffing Simulation Study. Dearborn, Michigan, Production Modeling Corporation, 2002
[http://www.pmc corp.com/PublishedPapers/Simulation %20Publications/Sim-Health %20Care/HowToConductASuccessfulEmergencyCenter.pdf](http://www.pmc corp.com/PublishedPapers/Simulation%20Publications/Sim-Health%20Care/HowToConductASuccessfulEmergencyCenter.pdf).
- 27 Elford, D. R.: Telemedicine in northern Norway. J. Telemed. Telecare. Band 3. 1997, S.1-22
- 28 Elford, D. R., White, H. et al.: A prospective satisfaction study and cost analysis of a pilot child telepsychiatry service in Newfoundland. J. Telemed. Telecare. Band 7. 2001, S.73-81
- 29 Falconer: The critical pathway method in stroke rehabilitation: lessons from an ex-

- periment in cost containment and outcome improvement. QRB Qual Rev Bull. 1993, 19, S.8-16
- 30 Frehr, H.-U.: Total Quality Management. 1993, München, Carl Hansen Verlag,
- 31 Gaitanides, M., Scholz R. et al.: Prozessmanagement - Umsetzung und Zielsetzung. Prozeßmanagement - Konzepte, Umsetzungen und Erfahrungen des Reengineering. 1994, München, Wien, Carl Hanser Verlag, S.1-19
- 32 Gerson, L. B. und Van Dam, J.: The future of simulators in GI endoscopy: an unlikely possibility or a virtual reality?. Gastrointest. Endosc. Band 55. 2002, S.608-611 <http://home.att.net/~iso9k1/tqm/tqm.html>.
- 33 Hansen, D. A.: Total Quality Management (TQM) Tutorial/Help Page. 2002
- 34 Harno, K., Arajärvi, E. et al.: Clinical effectiveness and cost analysis of patient referral by videoconferencing in orthopaedics. J. Telemed. Telecare. Band 7. 2001, S.219-225
- 35 Henricks, W. H., Roumina, K. et al.: The utility and cost effectiveness of voice recognition technology in surgical pathology. Mod. Pathol. Band 15. 2002, S.565-571
- 36 Jones, R. H.: PERT/CPM network analysis: a management tool for hospital pharmacists involved in strategic planning. Hosp Pharm. Band 19. 1984, S.89-90
- 37 Einheitlicher Bewertungsmaßstab (EBM). In: Kassenärztliche Vereinigung: Büro für Informations Systeme (BIS), 2002 <http://www.e-bis.de/ebm/>.
- 38 Kiuru, M. J., Paakkala, T. A. et al.: Effect of teleradiology on the diagnosis, treatment and prognosis of patients in a primary care centre. J. Telemed. Telecare. Band 8. 2002, S.25-31
- 39 Kost, G. J.: Application of Program Evaluation and Review Technic (PERT) to laboratory research and development planning. Am J Clin Pathol. Band 86. 1986, S.186-92
- 40 Laguna, M. P., Hatzinger, M. et al.: Simulators and endourological training. Curr. Opin. Urol. Band 12. 2002, S.209-215
- 41 Lamminen, H., Lamminen, J. et al.: A cost study of teleconsultation for primary-care ophthalmology and dermatology. J. Telemed. Telecare. Band 7. 2001, S.167-173
- 42 Loane, M. A., Bloomer, S. E. et al.: A randomized controlled trial assessing the health economics of realtime teledermatology compared with conventional care: an urban versus rural perspective. J. Telemed. Telecare. Band 7. 2001, S.108-118
- 43 Loane, M. A., Bloomer, S. E. et al.: Patient cost-benefit analysis of teledermatology measured in a randomized control trial. J. Telemed. Telecare. Band 5. 1999, *Suppl*

- 1, S.S1-S3
- 44 Loane, M. A., Oakley, A. et al.: A cost-minimization analysis of the societal costs of realtime teledermatology compared with conventional care: results from a randomized controlled trial in New Zealand. J. Telemed. Telecare. Band 7. 2001, S.233-238
- 45 Luttman, R. J., Laffel, G. L. et al.: Using PERT/CPM (Program Evaluation and Review Technique/Critical Path Method) to design and improve clinical processes. Quality Management in Health Care. Band 3. 1995, S.1-13
- 46 Manyak, M. J., Santangelo, K. et al.: Virtual reality surgical simulation for lower urinary tract endoscopy and procedures. J. Endourol. Band 16. 2002, S.185-190
- 47 McGuire, F.: Simulation in Healthcare. In: Banks J.: Handbook of Simulation. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1998 S.605-627
- 48 Morgenthaler, G. W.: The theory and application of simulation and operations research. In: Ackoff, R. L.: Progress in operations research. New York, John Wiley and Sons, Inc., 1961 S.363
- 49 Nance, R. E.: A history of discrete event simulation programming languages. ACM SIGPLAN Notices. Band 28. 1993, S.1-53
- 50 Oakley, A. M., Astwood, D. R. et al.: Diagnostic accuracy of teledermatology: results of a preliminary study in New Zealand. N. Z. Med. J. Band 110. 1997, S.51-53
- 51 Pearson, S. D., Goulart-Fisher, D. et al.: Critical pathways as a strategy for improving care: problems and potential. Annals of Internal Medicine. Band 123. 1995, S.941-8
- 52 Roussel, F., Darmoni, S. J. et al.: Cost effectiveness of a medical digital library. Med. Inform. Internet. Med. Band 26. 2001, S.325-330
- 53 Sargent, R. G.: Validation and Verification of Simulation Models. In: Farrington, P.A., Nembhard, H.B., Sturrock, D.T., Evans, G.W.: Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference. 1999 S.39-47
- 54 Schwarze, J.: Netzplantechnik: Eine Einführung in das Projektmanagement. Herne, Berlin, Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, 1994
- 55 Seifert, K.: Leitmotiv "Kundenorientierung" vs. Bürgerorientierung. Prozeßmanagement für die öffentliche Verwaltung. Wiesbaden, 1998 S.160-163
- 56 Seifert, K.: Prozessmanagement - Eine ganzheitliche Optimierungsphilosophie. Prozeßmanagement für die öffentliche Verwaltung. Wiesbaden, 1998 S.158-160
- 57 Shannon, R. E.: System Simulation: The Art and the Science. Englewood Cliffs,

- New Jersey, Prentice-Hall, 1975
- 58 Siegel, E., Reiner, B.: Work flow redesign: the key to success when using PACS. AJR Am. J. Roentgenol. Band 178. 2002, S.563-566
- 59 Simpson, J., Doze, S. et al.: Evaluation of a routine telepsychiatry service. J. Telemed. Telecare. Band 7. 2001, S.90-98
- 60 Sitzia, J. und Wood, N.: Patient satisfaction: a review of issues and concepts. Soc. Sci. Med. Band 45. 1997, S.1829-1843
- 61 Teichgraber, U. K., Benter, T. et al.: Netzplantechnik zur Zeitplanung bei abdominalen Ultraschalluntersuchungen. Ultraschall in Der Medizin. Band 20. 1999, S.236-41
- 62 Teichgraber, U. K., Neumann, F. et al.: Process management in computed tomography: using critical pathway method to design and improve work flow in computed tomography. European Radiology. Band 10. 2000, *Suppl* 3, S.370-6
- 63 Ulgen, O. M., Gunal, A. et al.: Pitfalls of Simulation Modeling and How to Avoid Them by Using a Robust Simulation Methodology. Dearborn, Michigan, Production Modeling Corporation, 2002
<http://www.pmc corp.com/PublishedPapers/Project %20Management %20Publications/PitfallsOfSimulationModeling&HowToAvoidThemByUsingARobust.pdf>.
- 64 Vincent, S.: Input Data Analysis. In: Banks J.: Handbook of Simulation. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1998 S.55-92
- 65 Voyvodic, F.: Virtual Endoscopy and Related 3D Techniques. Australas. Radiol. Band 46. 2002, S.216-220

8 Anhang

8.1 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 4-1:	Erstellung eines Prozessmodells in fünf Phasen	26
Tabelle 4-2:	Indikatoren der Prozessleistung	27
Tabelle 4-3:	Verteilungsfunktionen für Vorgangsdauern des Prozessmodells.....	33
Tabelle 4-4:	Stundenlohn und Stundenkosten des Personals	38
Tabelle 5-1:	Sammelvorgänge mit ihren Komponenten.....	40
Tabelle 5-2:	Vorgänge.	41
Tabelle 5-3:	Vorgangsdauern und ihre Verteilungsfunktionen. Vorgänge 1a-1m.	42
Tabelle 5-4:	Vorgangsdauern und ihre Verteilungsfunktionen. Vorgänge 2a-5c.	43
Tabelle 5-5:	Vergleich der Messwerte von Vorgangsdauern mit Mann-Whitney- Test bei Ärzten unterschiedlichen Ausbildungsstands.....	43
Tabelle 5-6:	Vergleich der Messwerte von Vorgangsdauern mit Mann-Whitney- Test bei MTRA mit unterschiedlichen Patienten.	44
Tabelle 5-7:	Ressourcen.	44
Tabelle 5-8:	Flussobjekte	46
Tabelle 5-9:	Verteilung der Patienten pro Wochentag.	46
Tabelle 5-10:	Untersuchungen pro Patient.	47
Tabelle 5-11:	Vergleich der Validierungsintervalldauern	48
Tabelle 5-12:	Anzahl der simulierten Untersuchungen und Anteil pro Untersuchergruppe	51
Tabelle 5-13:	Patientendurchlaufzeiten	52
Tabelle 5-14:	Arbeitsaufwand und Personalkosten	53
Tabelle 5-15:	Ressourcen- und Geräteauslastung	54
Tabelle 6-1:	Arbeitsplatzspezifische Faktoren, welche bei der Beurteilung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.....	78

8.2 Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 4-1: Durchschnittliche Anzahl der Untersuchungsarten pro Tag.	22
Abbildung 4-2: Benutzeroberfläche der Applikation zur zeitlichen Erfassung parallel ablaufender Arbeitsschritte.....	30
Abbildung 4-3: Vereinfachter Modellierungsprozess	34
Abbildung 5-1: Flussdiagramm der Prozessstruktur; Validierungsmodell.....	47
Abbildung 5-2: Validierung der Objektlaufzeiten im Validierungsintervall.....	48
Abbildung 5-3: Prozessstruktur des Facharztszenariums.	49
Abbildung 5-4: Prozessstr. des Ausbildungsszenariums mit digitaler Infrastruktur.....	50
Abbildung 5-5: Prozessstruktur des Facharztszenariums mit digitaler Infrastruktur. ...	50
Abbildung 5-6: Ressourcenauslastung pro Tag im Facharztszenarium.	55
Abbildung 5-7: Patientendurchlaufzeiten im Facharztszenarium.....	55
Abbildung 5-8: Gerätetaktzeit und –auslastung im Facharztszenarium.....	56
Abbildung 5-9: Ressourcenauslastung pro Tag im Facharztszenarium.	56
Abbildung 5-10: Patientendurchlaufzeit im Facharztszenarium.....	57
Abbildung 5-11: Gerätetaktzeit und Raumauslastung im Facharztszenarium.	57
Abbildung 5-12: Arbeitsaufwand pro Patient mit einer Abdomenuntersuchung.....	58
Abbildung 5-13: Kosten pro Abdomenuntersuchung.....	58
Abbildung 5-14: Auslastung der MTRA in Abhängigkeit von ihrer Anzahl in beiden Szenarien.....	59
Abbildung 5-15: Patientendurchlaufzeiten. Vergleich von Ausbildungs- und Facharztszenarien.....	59
Abbildung 5-16: Gerätetaktzeit und -auslastung. Vergleich von Ausbildungs- und Facharztszenarien.....	60
Abbildung 5-17: Patientendurchlaufzeit im Ausbildungsszenarium (alle Untersuchungen) nach Ausbildungsstand.....	60
Abbildung 5-18: Nettoarbeitsaufwand für Ärzte nach Ausbildungsstand pro Patient mit einer Abdomenuntersuchung.	60
Abbildung 5-19: Nettokosten für Ärzte nach Ausbildungsstand und Status pro Patient mit einer Abdomenuntersuchung.	61
Abbildung 5-20: Nettoarbeitsaufwand pro Patient in Ausbildungs- und Facharztszenarien mit und ohne digitale Infrastruktur.....	62

Abbildung 5-21: Ressourcenauslastung im Facharztszenarium mit und ohne digitale Infrastruktur.	62
Abbildung 5-22: Patientendurchlaufzeit in Ausbildungs- und Facharztszenarien mit und ohne digitale Infrastruktur.	63
Abbildung 5-23: Gerätetaktzeit und -auslastung in Ausbildungs- und Facharztszenarien mit und ohne digitale Infrastruktur.	63
Abbildung 5-24: Personalkosten pro Patient (alle Untersuchungsarten) mit produktivem und unproduktivem Anteil in Ausbildungs- und Facharztszenarien mit und ohne digitale Infrastruktur.	64
Abbildung 6-1: Schematischer Zusammenhang zwischen Komplexität und Nutzwert eines Simulationsmodells.	65
Abbildung 6-2: Schematischer Zusammenhang zwischen Aufwand der Modellvalidierung und Wert des Modells für den Anwender.	73

8.3 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Christoph Gillessen, geb. am 12.4.69 in Aachen, an Eides Statt, dass die vorliegende Dissertation von mir selbst und ohne die unzulässige Hilfe Dritter verfasst wurde, auch in Teilen keine Kopie anderer Arbeiten darstellt und die benutzten Hilfsmittel sowie die Literatur vollständig angegeben sind.

Berlin, den

8.4 Danksagung

An erster Stelle danke ich Herrn PD Dr. med. Jens Ricke, leitender Oberarzt der Abteilung für Strahlenheilkunde der Charité Campus Virchow-Klinikum und Betreuer dieser Arbeit, der mir ihre Durchführung erst ermöglichte.

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. Ulf Teichgräber, Assistenzarzt in der o.g. Abteilung und tatkräftiger Betreuer dieser Arbeit, der mir mit unermüdlichem Engagement mit allem zur Seite stand, was zur Vollendung vonnöten war: Rat und Tat, technische Hilfsmittel und stetige Motivation.

Ebenfalls besonderer Dank gilt den MTRA und Ärzten, die sich über Wochen beobachteten und bemessen ließen und gerne ihre Kompetenz in das Prozessmodell einbrachten. Hervorzuheben ist hier MTRA Herr Witte, der mich stets und mit Hingabe in allen Anliegen unterstützte.

Herrn Dipl.-Ing. Lothar Phillip danke ich für seinen Beistand, was das Datenretrieval und andere Belange im Zusammenhang mit Robsys betrifft.

Viel Dank gilt auch Al Lafferiére vom Support der Scitor Corporation, der stets zügig mit guten Tipps, Ideen und fehlerbereinigten Versionen zur Hand war, wenn die Software an ihre Grenzen stieß.

Meinen geliebten Eltern danke ich für ihre liebevolle Geduld (und all das andere), mit der sie mir das Studium und diese Arbeit ermöglichten.

Meinen Ausbildern Frau Simone Sommer und Herrn Arthur Reade danke ich für ihren immensen liebevollen Einsatz, der mir die Motivation für diese Arbeit eröffnete.

Zu guter Letzt danke ich allen, die hier nicht erwähnt sind und direkt oder indirekt zum Gelingen dieser Arbeit beitrugen.